

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра екології, охорони навколишнього середовища
та здорового способу життя

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕОНСЗСЖ
к.б.н., доцент
_____ Ольга МЕДВЕДЄВА
“ _____ ” 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему
“Екологічна оцінка використання бурого вугілля
для створення бінарних паливних систем”

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ЕО-22 МЗ
ОПП «Екологія»
спеціальності 101 «Екологія»
_____ Свінар І.В.
« _____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
к.б.н., доцент
_____ Ольга МЕДВЕДЄВА
« _____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____ Микола КОВАЛЬОВ
« _____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький, 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет ЦЗДО
Кафедра ЕОНСЗСЖ
Рівень вищої освіти магістр
Галузь знань 10 – Природничі науки
Спеціальність 101 - екологія
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ЕОНСЗСЖ

к.б.н., доцент

Ольга МЕДВЕДЄВА

“ ” 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ
ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Свінара Ігора Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Екологічна оцінка використання бурого вугілля для створення бінарних паливних систем

2. Керівник роботи

Медведєва О.В., кандидат біологічних наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Полягає в демонстрації можливості використання в якості джерела отримання енергії місцевих доступних та недорогих ресурсів.

Завдання дослідження:

- Виконати експериментальні дослідження з отримання стабільних бінарних паливних систем;

-Розробити рекомендацій з отримання водовугільних суспензій (ВВС) з необхідними реологічними характеристиками для гідротранспорту;

-Обґрунтувати можливість спалювання ВВС у теплоносіях малої потужності.

Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічна частина	Доцент Медведєва О.В.		
Економічна частина	Асистент Мірзак Т.П.		
Охорона праці	Доцент Лузан П.Г.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ П/П	Строк виконання етапів роботи	Назва етапів кваліфікаційної роботи
Перший	15.11.2023 року	Розділ 1.Огляд літератури, Розділ 6.Охорона праці
Другий	22.11.2023 року	Розділ 2. Технології отримання ВВС Розділ 3.Методика досліджень
Третій	14.12.2023 року	Розділ 4. Результати досліджень
Четвертий	20.12.2023 року	Розділ 5. Економічне обґрунтування результатів досліджень
П'ятий	25.12.2023 року	Висновки, список літератури, вступ.

Дата видачі завдання «____» _____ 2023 р.

Підпис керівника

_____ Медведєва О.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«____» _____ 2023р.

Підпис здобувача

_____ Свінар І.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

На тему: «Екологічна оцінка використання бурого вугілля для створення бінарних паливних систем»

Випускна кваліфікаційна робота виконана на 82 сторінках, включає 23 таблиці, 15 рисунків, 53 літературних джерела, 2 додатки.

Об'єктом дослідження є ТЕЦ КП «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИК».

Метою дослідження є: демонстрація можливості використання в якості джерела отримання енергії місцевих доступних та недорогих ресурсів

У вступі розкривається актуальність магістерської роботи за обраним напрямом, ставиться проблема, мета і завдання.

У першому розділі присвячена класифікації, аналізу стану, методів створення водо вугільних систем та їх технологічних характеристик.

У другому розділі проведено аналіз технологічних аспектів отримання водо вугільних суспензій, а також перспективи розвитку цих напрямів.

У третьому розділі описується методика проведення досліджень технології отримання водовугільного палива на основі кам'яного та бурого вугілля.

У четвертому розділі описана технологія отримання грубо- та тонко дисперсних ВВП на основі кам'яного та бурого вугілля.

У п'ятому розділі проводиться техніко-економічне обґрунтування проекту створення пілотного проекту з виробництва ВВП.

У висновках наведені результати магістерської роботи та визначені перспективи розроблених заходів.

БУРЕ ТА КАМ'ЯНЕ ВУГІЛЛЯ, ВОДОВУГІЛЬНА СУСПЕНЗІЯ, ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА.

Список скорочень, наведених у роботі

БМР – будівельно-монтажні роботи

ВВС – водо вугільні суспензії

ВВП - водовугільне паливо

МВС – мазуто-вугільна суміш

ЛСТ – лігніосульфонат

ЛСМ – лігніосульфонат модифікований

ПТЗ – питома теплота згоряння

ХПК – хімічна потреба кисню

ЗМІСТ

	Стор
Реферат	4
Список скорочень	5
Вступ	8
АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ	
РОЗДІЛ 1	11
ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПАУНДНИХ ТА БІНАРНИХ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ (огляд літератури)	
1.1. Технологічні особливості отримання компаундних паливних систем.	11
1.2. Приготування та використання водопаливних емульсій	12
1.3. Технологічні особливості приготування та використання водовугільних суспензій з кам'яного та бурого вугілля.	16
РОЗДІЛ 2	19
ТЕХНОЛОГІЯ ПРИГОТУВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ У КП «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИК»	
2.1. Технологія одержання грубодисперсних водовугільних суспензій	19
2.2. Технологія одержання тонкодисперсних водовугільних суспензій	23
2.3. Технологія спалювання водовугільного палива	25
РОЗДІЛ 3	31
МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1. Методика проведення досліджень	31
3.2. Характеристика вихідної сировини	33
РОЗДІЛ 4.	35
ОТРИМАННЯ СТАБІЛЬНИХ ВОДОВУГІЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ	
4.1. Вплив якості робочого середовища на властивості водовугільних суспензій.	35
4.2. Вплив системи розмелювання вугілля з отриманням бімодального складу шихти з добавкою бурого вугілля	40

4.3.	Дослідження впливу процесу гомогенізації на реологічні параметри ВВС	44
4.4.	Дослідження впливу температури на реологічні характеристики суспензій.	46
4.5.	Спалювання ВВС у теплогенераторах малої потужності.	48
4.6.	Інтенсифікатори горіння.	52
	ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	
РОЗДІЛ 5	СТВОРЕННЯ ПІЛОТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ.	56
РОЗДІЛ 6	ОХОРОНА ПРАЦІ	65
6.1.	Аналіз ризиків, які можуть виникнути під час отримання бінарних паливних сумішей на основі бурого вугілля	65
6.2.	Розробка заходів по запобіганню дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів і покращенню умов праці.	66
6.2.1.	Заходи запропоновані для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.	66
6.2.2.	Вибір і обґрунтування засобів індивідуального захисту	68
6.2.3.	Інструкція з охорони праці при отриманні паливних сумішей	69
6.2.4.	Розробка системи управління охороною праці на підприємстві отримання паливних сумішей	70
6.3.	Розробка заходів з пожежної профілактики	71
6.4.	Висновки по розділу	72
	ВИСНОВКИ	74
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	75
	ДОДАТКИ	81

Вступ

Актуальність теми. Достатнє за ресурсами та доступне за вартістю енергозабезпечення є основою функціонування суспільного виробництва, передумовою та визначальним фактором економічного росту будь-якої країни світу. В історії розвитку світової економіки чітко простежується взаємозв'язок розвитку енергетичної бази та науково-технічного прогресу. На кожному етапі свого історичного розвитку суспільство може використовувати лише ті ресурси, для споживання яких створені необхідні технічні засоби. При цьому внесок тих чи інших ресурсів у загальне енергоспоживання збільшується поступово, у міру створення необхідної інфраструктури у сферах їх видобутку, транспорту, переробки, розподілу та кінцевого споживання. Це зумовлює значну інерційність переходу енергетичного господарства в цілому та окремих його складових з одного виду енергетичних ресурсів на інший більш екологічно чистий. Тому останнім часом актуальність теми зумовлена проблемою модернізації виробничих процесів щодо енергоефективності, екологічної та виробничої безпеки як стратегічного спрямування на сучасному етапі розвитку економіки країни.

Однією з найбільших галузей використання енергоресурсів сьогодні є транспорт, частку якого припадає близько 29% загального кінцевого споживання всіх енергетичних ресурсів. У створенні екологічно чистих та економічно обґрунтованих гідротранспортних паливно-енергетичних комплексів на основі використання водо-вугільних суспензій дозволить підвищити частку бурого вугілля у паливно-енергетичному балансі багатьох країн, що забезпечить підвищення їхньої енергетичної безпеки.

В даний час існує необхідність створення та розвитку нових напрямків в отриманні палив заданої якості з використанням вторинних ресурсів. Причому це паливо має бути максимально екологічно чистим. Однією з проблем у цьому напрямку є ефективне компаундування моторних та котельно-пічних палив на основі нафтопродуктів та відновлюваних джерел

сировини без використання «екзотичних» стабілізаційних добавок та екстремальних технологічних прийомів. Виробництво моторних (карбюраторних, дизельних, реактивних) та котельних палив на базі традиційних нафтопродуктів та відновлюваних кисневмісних ресурсів значною мірою утруднено недостатнім рівнем теоретичного опрацювання процесів їх компаундування. Відсутня системний підхід до вирішення цієї проблеми.

Мета роботи полягає – демонстрація можливості використання в якості джерела отримання енергії місцевих доступних та недорогих ресурсів.

Завдання дослідження:

1. Виконати експериментальні дослідження з отримання стабільних бінарних паливних систем;
2. Розробити рекомендації з отримання водовугільних суспензій (ВВС) з необхідними реологічними характеристиками гідротранспорту;
3. Обґрунтувати можливість спалювання ВВС у теплоносіях малої потужності.

Наукова новизна роботи полягає: 1) в розробці і експериментальному дослідженні більш досконалої технології створення ВВС, що передбачає використання бурого вугілля Дніпровського буровугільного басейну; в описі математичних залежностей, котрі креативно описують процеси створення компаундних та бінарних паливних систем; 3) у визначенні раціональних режимів роботи теплоносіїв малої потужності при спалюванні ВВС.

Практична цінність роботи полягає у тому, що автором була запропонована та апробована в промислових умовах технологія використання бурого вугілля місцевих родовищ корисних копалин; розроблені рекомендації до проектування та розрахунку пристроїв, що входять в пропоновану технологічну схему енергонезалежності регіону та країни в цілому.

Особистий внесок здобувача в наукові дослідження. Викладені в роботі результати отримано автором самостійно. Щодо розглянутих в

магістерській роботі задач, котрі розв'язані в працях, спільних з науковим керівником, О.В. Медведєвою, їй належить постановка проблеми досліджень і загальне керівництво роботою.

Апробація результатів роботи. Основні положення випускної кваліфікаційної роботи доповідалися на міжнародних та всеукраїнських конференціях: XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки», м. Кропивницький, ЦНТУ, 8-10 листопада 2023 року, а також на круглому столі «Екологічні проблеми сучасності», проведеному на кафедрі екології, ОНС та ЗСЖ ЦНТУ 30.11.20223 р..

Публікації. Результати проведених досліджень в даній магістерській роботі опубліковані у вигляді статті: І. Свінар Критерії екологічної ефективності використання бінарних паливних систем. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». (м. Кропивницький, 8-10 листопада 2023 р), Кропивницький: ЦНТУ. 2023.С.380-382 [2].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПАУНДНИХ ТА БІНАРНИХ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ

1.1. Технологічні особливості отримання компаундних паливних систем.

Серед товарних нафтопродуктів понад 50 % нині становлять моторні палива. Щорічно у світі споживається близько 1,5 млрд. т моторних палив, спалюваних у сотнях мільйонів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), встановлених в автомобільних, залізничних та авіаційних транспортних машинах, річкових та морських суднах, сільськогосподарській, будівельній та військовій техніці тощо . В даний час та в найближчій перспективі, можливості для задоволення потреб у паливно-мастильних матеріалах (ПММ) за рахунок збільшення обсягів нафтопереробки практично вичерпані. Поглиблення та хімізація переробки нафти не дозволяє повністю вирішити проблему забезпечення народного господарства у ПММ. Для подолання невідповідності між потребами у ПММ та можливостями нафтопереробки необхідні спільні зусилля, виробників ПММ, ДВЗ, а також їх споживачів. Для вирішення цієї актуальної проблеми застосовні наступні три напрями збалансованого розвитку виробництва ПММ та ДВЗ та їх споживання:

- 1) Збільшення ресурсів ПММ шляхом [2] поглиблення та хімізацію переробки нафти, а також оптимізації якості ПММ.
- 2) Зниження витрати ПММ у ДВС шляхом [3]: дизелізацію автомобільного парку, конструктивного вдосконалення ДВЗ та транспортної техніки, економічної експлуатації ДВЗ, техніки та раціональним застосуванням ГМС.
- 3) Застосування альтернативних палив [4]: газоподібні вуглеводневі палива та водень, паливо з вугілля, сланців та інших нафтових горючих копалин, кисневмісні палива та їх компоненти [5] (спирти, ефіри та

Під якістю паливно-мастильних матеріалів розуміється сукупність властивостей, що зумовлюють їхню придатність для використання за функціональним призначенням [6]. Усю сукупність властивостей ПММ, що визначають їх якість, можна поділити на три групи: фізико-хімічні, експлуатаційні, технічні.

До фізико-хімічних відносяться властивості, що характеризують стан ГМС та їх склад (щільність, в'язкість, теплоємність, елементний, фракційний та груповий вуглеводневий склад і т.д.). Ці методи дозволяють опосередковано вудити про ту чи іншу експлуатаційну властивість. Зокрема, за фракційним складом судять про пускові властивості бензинів, щільність реактивного палива про дальність польоту тощо.

Експлуатаційні властивості ГМС покликані забезпечити надійність та економічність експлуатації двигунів, машин і механізмів, характеризують корисний ефект від їх використання за призначенням та визначають область їх застосування (випаровуваність, горючість, займистість, детонаційна стійкість, прокачування, схильність до утворення смолоподібних відкладень).

Технічні властивості ГМС проявляються в процесах зберігання, транспортування та тривалої експлуатації (по суті, що визначають і екологічний вплив). До них відносяться:

- 1) фізична та хімічна стабільність, біологічна стійкість;
- 2) токсичність, пожежебезпе́чність, схильність до електризації, корозійна активність і т.д.

Розчинність однієї речовини в іншій крім природи цих речовин визначається та умовами процесу розчинення. Зазвичай хімічно подібні речовини краще розчиняються одна в одній, ніж у речовинах іншої структури та складу. При цьому подібність не слід розуміти надто вузько, оскільки часто вже достатньо присутності в молекулах однакових чи подібних до поведінки функціональних груп. Якщо є хімічна подібність, розчин обох сполук буде мати структуру, дуже подібну до структури чистих сполук.

Обидві речовини поєднуються в розчині і повністю змішуються, як, наприклад, метанол та вода.

Однією з перших спроб системної класифікації взаємодії органічних рідин природи, що відрізняється, є монографія Х. Райхартда [7].

Згідно з Райхартдом загальне уявлення про взаємну розчинність розчинників дає малюнок 1.1.

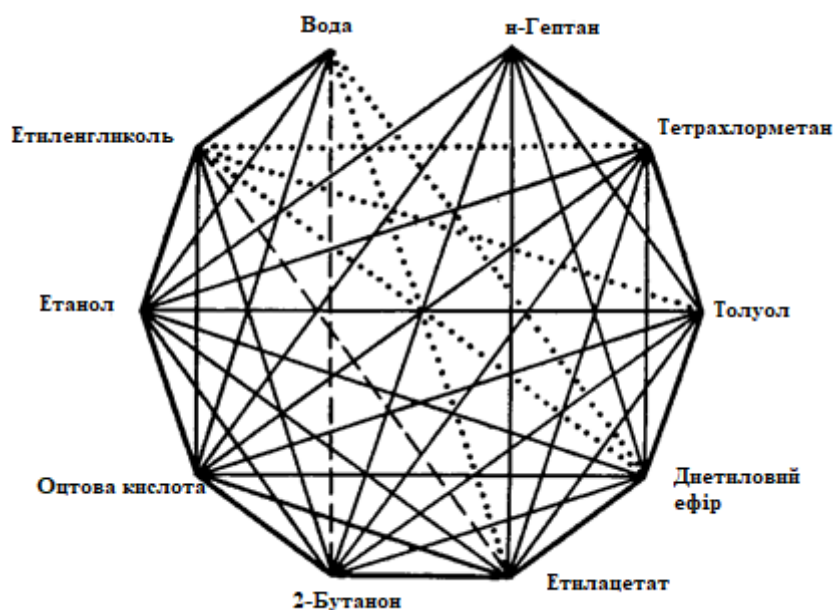


Рис. 1.1 Здатність органічних розчинників змішуватись один з одним.

Позначення: _____ змішуються у будь-яких відносинах;

-----поєднуються лише у певних відносинах;

.....взаємо малорозчинні;

не пов'язані лініями розчинники не змішуються в жодних відносинах.

Найважливішими для досліджень є взаємодія кисневмісних систем з нафтовими фракціями.

Ще в XX-і роки минулого століття вперше було виявлено інтерес до спирто-вуглеводневим сумішам у зв'язку із збільшенням споживання світлих нафтопродуктів та з метою отримання автомобільних бензинів з великим октановим числом. Під час Другої світової війни за гострого дефіциту нафти та нафтопродуктів вони застосовувалися і у виробництві авіаційних палив.

Надалі протягом 60-ти років у світовій практиці з різною інтенсивністю вивчається і апробується можливість застосування як моторного палива спиртів та їх сумішей з нафтопродуктів.

У світі запатентовано та використовується безліч октано-підвищуючих добавок та паливних композицій на їх основі. Патенти останніх десятиліть [8] можна щодо умовно згрупувати за такими класам:

1. Різні присадки та добавки – металоорганіка, гетероорганіка;
2. Добавки – ароматичні вуглеводні, ізомери різних вуглеводнів та ін;
3. Оксигенати - ефіри, спирти та ін.

Досвід використання високооктанових з'єднань різних класів показав, що найперспективнішими серед них є кисневмісні добавки, або оксигенати. Список використовуваних оксигенатів великий: ефіри - метилтретбутиловий, метилтретаміловий, діізопропіловий та ін; спирти - метанол, етанол та деякі вищі [9].

Застосування метанолу, незважаючи на його високе октанове число усунення, обмежене, а в ряді країн заборонено внаслідок його високої токсичності, леткості, а також підвищеної гігроскопічності, яка створює ще й ряд технічних труднощів при використанні спирту бензинових сумішей, у 1970-і роки дослідження метанолу як високооктанової добавки до бензину або альтернативного палива у багатьох країнах, зокрема у Японії, навіть Німеччини[10].

1.2. Приготування та використання водопаливних емульсій

Водопаливні емульсії є різновидом дисперсних паливних систем та деякі дослідники [11] відносять їх до штучних видів палив. Вони являють собою систему двох або більше рідин, які не змішуються, які за наявності певного комплексу властивостей, використовуються головним чином як котельне паливо на теплових електростанціях.

Про підвищений науково-технічний інтерес до питань виробництва та використання водопаливних емульсій у світі свідчать результати першого

Всесвітнього конгресу з питань виробництва та застосування бітумних емульсій, що відбувся в Парижі 19-22.10.1993 р. У конгресі взяли участь представники країн ЄС, США, Японії, Австралії та ін. Було зроблено прогноз розвитку виробництва та продажу емульсій початку третього тисячоліття. До найперспективніших відносять системи: вода-мазут, вода-бензин, вода-дизельне паливо [12].

Розвиток робіт з виробництва водопаливних емульсій здійснюється, в основному, у 2-х напрямках: це, по-перше, розробка різних диспергуючих пристроїв для отримання емульсії заданої дисперсності і, по-друге, введення добавок типу ПАР, що покращують реологічні властивості та забезпечують їх стабільність [13].

Існуючі методи гомогенізації та диспергувальні пристрої можна об'єднати у чотири групи [14]: 1) механічні (колоїдні млини – диспергатори або гомогенізатори та механічні мішалки); 2) пневматичні та парові барбатори; 3) ультразвукові пристрої; 4) кавітаційні пристрої. У вітчизняній практиці найбільшого поширення набули механічні машини: колоїдні млини та механічні мішалки.

Колоїдний млин – один із найпоширеніших видів диспергаторів, який дає можливість отримувати дисперговані паливні системи (ДПС) з регульованою дисперсністю. [15] наводиться опис великої кількості колоїдних млинів різної продуктивності для приготування емульсій з різних рідин. В основу роботи цих диспергаторів покладено принцип продавлювання неоднорідної і грубої суміші палива з водою через вузький отвір між статором і ротором, що обертається. Змінюючи величину отвору між статором ротором, швидкість обертання ротора можна отримувати емульсії різної дисперсності. Прикладом такого пристрою є високошвидкісний багатоступінчастий диспергатор системи Хотунцева-Пушкіна [16].

У Німеччині розроблені та випускаються гомогенізатори фірми QualinCorporation, засновані на принципі поршневої дії під високим тиском (14МПа) [17].

Спосіб приготування водо-паливних емульсій (ВПЕ) методом барботажу широкого поширення не отримав [18], так як при цьому емульсії виходять грубіші і менш однорідні, а також з газом або парою захоплюється частина вуглеводнів зі зниженою температурою кипіння, внаслідок чого теплота згоряння палива дещо знижується, а питома вага підвищується.

Ультразвукові диспергатори поділяють на 2 типи залежно від випромінювача [19]. До I типу належать апарати, в яких використовують магнітофракційні або п'єзоелектричні перетворювачі. Такі апарати досить вартісні та мають низьку продуктивність. Їх використовують в основному для лабораторних досліджень [20] (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики апаратів типу УПХА

Параметри	Марка апарату				
	УПХА-Л	УПХА-М	УПХА-Р18	УПХА-Р8	УПХА-Р5
Кількість УЗ випромінювачів	1	1	4	4	4
Резонансна частота, кГц	18	18-40	18	8	4,8
Внутрішній діаметр блоку випромінювачів, мм	62	62	62	147	245
Максимальний робочий тиск, кг/см ²	6	6	6	6	8
Номінальна потужність випромінювача, кВт	2,5	2,5	9	15	80

До II типу відносяться апарати, що використовують гідродинамічний випромінювач ультразвуку, в якому генерування пружних коливань відбувається при взаємодії рухомих потоків компонентів, що змішуються з вібратором.

Основною перевагою цих пристроїв є їхня простота у виготовленні та висока питома продуктивність. Недоліки: необхідність встановлення

напірних насосів для забезпечення руху рідини через сопло зі швидкістю не менше 20-40 м/сек, дисперсність ВМЕ залежить від витрати рідини, складність у налаштуванні, низька ерозійна стійкість роботи елементів, що не перевищують десятки годин [21]. До таких апаратів відносяться змішувачі типу УГЗ (табл.1.2).

При перемішуванні мазуту з водою за допомогою стисненого повітря або перегрітої пари одержують розміри крапель 60-160 мкм [22].

За допомогою двоступінчастого механічного змішувача була отримана емульсія розмірами крапель 150-450 мкм [23].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики апаратів УГЗ

Тип апарату	Кількість випромінювачів	Продуктивність, м ³ /год	Тиск перед випромінювачем, кг/см ²	Тип насосу	Потужність, кВт
УГЗ-Л УГЗ-ЕУ	14	17	59	1В6/5Х ЕКІ-10/1-11	16

У роботі [24] наведено дані про питому витрату енергії деяких типів диспергаторів (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Характеристика питомих енерговитрат для приготування ВПЕ

Назва диспергатора	Гомогенізатор типу А1-2М Одеський механічний завод	Колоїдний млин фірми «Прем'єр-Мілл»	Генератор кавітації системи (Л.А.Сульбі) ГКА-1	Сирена гідродинамічної конструкції В. М.Варламова	Дисковий диспергатор Н-24 П
Метод	дроселювання	перемішування	кавітації	кавітації	переміщення
Питомі енергозатрати, кВт·год/т	8	6-10	1,7	1,6-2,7	2,7

Працюючи всіх диспергуючих пристроїв спостерігається виникнення

турбулентності. При турбулентному русі може виникнути кавітація, яка інтенсифікує емульгування.

Використання цього явища призвело до створення цілого класу диспергуючих пристроїв - кавітаційних диспергаторів, що характеризуються невисокими питомими енерговитратами, високою якістю емульсії, що отримується, великої продуктивності при невеликих габаритах установки.

Дослідження властивостей водопаливних емульсій проводилося як у модельних сумішах, і на натуральних паливах. Так, при вивченні стабільності водонафтових емульсій з урахуванням застосування різних ПАР як модельної системи використана композиція дистильована вода – декан, показано, що стабільність емульсій корелює з величиною міжфазного натягу та найбільш стабільні емульсії при максимальному показнику останнього [25].

Внаслідок великої в'язкості за нормальної температури приблизно 20°C ВМЕ стабільні кілька місяців [33]. Заморожені ВПЕ до -30°C після підвищення температури практично не порушують своєї структури, що є позитивним фактором для територій з вираженим континентальним кліматом.

1.3. Технологічні особливості приготування та використання водовугільних суспензій з кам'яного та бурого вугілля.

Безліч робіт присвячено технологіям отримання водовугільних суспензій (ВВС). Вважають, що це послідовність нескладних, добре вивчених процесів, у яких виходить суспензійне водоугільне паливо. Але технологія отримання паливних суспензій з бурого вугілля, незважаючи на ідентичність з отриманням ВВС з кам'яного вугілля, має свою власну специфіку через різні фізико-хімічні характеристики вугілля, а саме [34]:

1. Питома теплота згоряння (ПТЗ) кам'яного вугілля в 1,66 рази вище, ніж ПТЗ бурого вугілля. Отже, при рівній концентрації ВВС по твердій фазі ПТЗ суспензії з бурого вугілля завжди буде нижче, ніж ПТЗ з кам'яного

вугілля. При досить низькій якості бурого вихідного вугілля, наприклад, такого, як вугілля розрізу «Дніпровський», спалювання ВВС, отриманої з нього, стає взагалі проблематичним.

2. Вологість кам'яного вугілля значно нижча від вологості бурого вугілля, тому вміст твердої фази, текучих суспензій, виготовлених з кам'яного вугілля, завжди буде більшим, ніж у суспензій, приготованих з рядового бурого вугілля. У зв'язку з цим, ВВС з кам'яного вугілля, завжди буде вище, ніж ВВС з бурого вугілля.

3. Щільність кам'яного вугілля вище за щільність бурого вугілля. Отже, для забезпечення рівної седиментаційної стійкості, ВВС, приготовані з кам'яного вугілля, повинні мати більш дрібніший розмір часток, ніж ВВС, приготовані з рядового бурого вугілля. Фракційний склад ВВС, що враховує їхню гранулометрію, теж повинен відрізнятися. У зв'язку з цим змінюється і кількість хімічних добавок, що вводяться в ВВС для поліпшення їх реологічних та седиментаційних властивостей.

4. Поверхневі властивості частинок із кам'яного та бурого вугілля теж відрізняються. Частинки кам'яного та бурого вугілля мають різний заряд, тому для кожного конкретного виду вугілля необхідно підбирати свої, специфічні, пластифікуючі та стабілізуючі добавки.

5. Розрізняються кам'яні та бурі вугілля та за коефіцієнтом розмолоздатності. Ця обставина вимагає визначення оптимального для кожного типу вугілля, часу подрібнення, навіть в ідентичних помольних пристроях. Питома витрата електроенергії, необхідна для приготування однієї тонни ВВС, знаходиться у прямій залежності від необхідного часу подрібнення вугілля. Різний коефіцієнт розмолоспроможності вугілля вимагає і різного підбору кульового завантаження млинів, як за вагою, так і фракційним складом куль.

6. Міцність частинок кам'яного вугілля вище міцності частинок бурого вугілля, тому процес їх подрібнення при транспортуванні трубопроводом йде менш інтенсивно. Для збереження рівної експлуатаційної надійності

трубопроводу, що перекачує ВВС з кам'яного вугілля, ВВС з бурого вугілля повинна мати більш тонкий помел, щоб відносна зміна кількості тонкої фракції при перекачуванні ВВС не виявилася для неї критичним і не призвело до закупорки трубопроводу через підвищення необхідного тиску перекачування.

7. Хімічний склад та кількість мінеральної частини біля кам'яного та бурого вугілля також різний. Мінеральна частина вугілля, вступаючи в реакцію з хімічними добавками, що вводяться у ВВС у процесі її приготування, неоднозначно впливає на її реологічні та седиментаційні властивості. Більше того, при трубопровідному транспорті ВВС, мінеральна частина вугілля здатна відокремлюватися від вуглецевої складової, створювати міцні відкладення на стінках трубопроводу. З одного боку, це явище позитивне: знижується, навіть взагалі виключається, знос трубопроводів. Негативним моментом є те, що змінюється ступінь шорсткості стінок трубопроводу, а отже, найчастіше, збільшується необхідний тиск перекачування. Змінюється поперечний переріз трубопроводу, звичайно, у бік його зниження, що також веде до збільшення необхідного тиску перекачування. У граничному випадку накопичення мінеральних відкладень у трубопроводі вимагає проведення операції примусового очищення. Питання, що краще: збагачення вугілля перед приготуванням ВВС шляхом видалення його мінеральної частини, або періодичне чищення трубопроводів найчастіше вирішується на користь збагачення.

8. Відрізняються кам'яні та бурі вугілля також і за змістом летких компонентів. З ними пов'язана активність поведінки суспензій під час спалювання. Буре вугілля має у своєму складі до 44–48 % летких речовин. Суспензії з них згоряють швидше і повніше, ніж кам'яновугільні суспензії. При однаковому рівні помолу буровугільні суспензії дають набагато менший недопал, ніж кам'яновугільні.

9. Наявність у бурому вугіллі великої кількості гумінових сполук також вимагає застосування до них іншого підходу, ніж до кам'яновугільних суспензій. Взаємодія гумінових кислот бурого вугілля з хімічними добавками, що вводяться для пластифікації ВВС, також вимагає особливого підходу.

10. Послідовність проведення однакових технологічних операцій, виконаних у процесі виготовлення ВВС з кам'яного або бурого рядового вугілля, може давати різний кінцевий результат. Для кам'яного вугілля, з його високим ступенем метаморфізму та малою реакційною здатністю, майже не має значення час його зберігання після виїмки з надр землі. Для бурого вугілля навпаки, неприпустима попередня витримка в буртах зберігання через його високу реактивність. Поверхня бурого вугілля, що окислилася, різко погіршує реологічні та седиментаційні властивості, приготованих з нього ВВС.

Наведений, і, ймовірно, не повний, перелік відмінностей кам'яного та бурого вугілля показує неоднозначність та суперечливість технологічних та споживчих вимог при приготуванні буровугільних суспензій. Незважаючи на меншу теплоту згоряння буровугільних ВВС, порівняно з кам'яновугільними, перші можуть мати й певні переваги: менші витрати на подрібнення, вищу швидкість згорання та ін. умов. Це дозволить отримувати ВВС з необхідними для практиків характеристиками за мінімальних економічних витрат [35]. У сучасних умовах у світовій практиці питання використання водовугільного палива надається особливого значення. Роботи з освоєння та широкого впровадження технології виготовлення ВВС проводяться в Японії, Італії, США, Канаді та інших країнах.

Основними стримуючими чинниками масового застосування ВВС в Україні була низька вартість основного енергоносія – газу [36] і вкрай неефективна технологія виробництва ВВС, що характеризується високими енерговитратами, багатоетапністю, необхідністю використання дорогих реагентів-стабілізаторів [37]. Незважаючи на те, що водовугільне паливо

існує вже понад 50 років, у нашій країні досі відсутні єдині підходи до оцінки його якісних параметрів. Водовугільне паливо не включено до довідників та класифікаторів стандартних видів палива. Незалежно від класифікацій, для ВВС можна виділити кілька основних параметрів, які характеризують цю суміш не просто як суспензію, а як паливо, що спалюється. Дані параметри є вимірюваними і дозволяють зробити висновки про кондиційність / некондиційність ВВС незалежно від способу приготування (кульові млини, кавітація, гідроудар та ін.).

Слід виділяти два типи параметрів: 1) отримані в технологічному процесі приготування ВВС (це вміст твердої фази в ВВС, %; гранулометричний склад, мкм.; в'язкість (динамічна або кінематична), $\text{Па} \cdot \text{с}$; стабільність (статична), добу.); 2) Залежні лише від властивостей вихідного вугілля. (теплотворна здатність, ккал/кг (або Гкал/т); зольність, %; та ін) [38].

Наведені результати неможливо повною мірою оцінити можливості використання бурого вугілля для масштабного отримання суспензійного водовугільного палива. Потрібні додаткові дослідження і у разі отримання ВУС з використанням вторинних ресурсів (як тверда або рідка фаза ВВС).

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЯ ПРИГОТУВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ У КП «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИК»

2.1. Технологія одержання грубодисперсних водовугільних суспензій

В даний час отримали розвиток дві технології гідротранспортування вугілля магістральними трубопроводами: у турбулентному режимі – грубодисперсних водовугільних суспензій, що вимагають на кінцевому терміналі додаткових операцій зневоднення вугілля та освітлення технологічної води і, як правило, у ламінарному режимі – висококонцентрованих тонкодисперсних водоносів без попередньої підготовки.

Найбільш повно переваги трубопровідного транспорту вугілля у вигляді грубодисперсної ВВС виявилися в процесі експлуатації таких систем в США «Кадіс-Іст-Лейк» та «Блек Меса» [39]. Протягом перших п'яти років експлуатації по першому магістральному трубопроводу було перекачано 5 млн т вугілля, у період 1960-1962 рр. щорічно подавалося 1300-1400 тис. т вугілля, що становило 90% всієї потреби електростанції.

У загальному вигляді технологічна схема отримання грубодисперсної водовугільної суспензії (без попереднього збагачення вугілля) полягає в наступному.

Вихідне вугілля подається до приймального бункеру, звідки живильником направляється на операцію дроблення в молоткову дробарку. Після дроблення вугілля крупністю фракції 0-10 мм направляється в бункер, що акумулює, звідки в заданій кількості дозатором подається в барабанний стрижневий млин.

Одночасно з вугіллям у млин у необхідній кількості надходить технічна вода. У млині відбувається процес «мокрого» подрібнення до крупності 0-3 мм. Співвідношення вугілля та води, що надходять до млина, дорівнює 50:50.

Отримана суспензія з млина самопливом надходить у прийомний зумпф, звідки насосом по трубопроводній системі подається в акумулюючий резервуар. Технологічна схема приготування грубодисперсної вугільної суспензії та апаратне оформлення технології приготування грубодисперсної вугільної суспензії (без попереднього збагачення вугілля) представлені на рис. 2.1 та 2.2 відповідно.

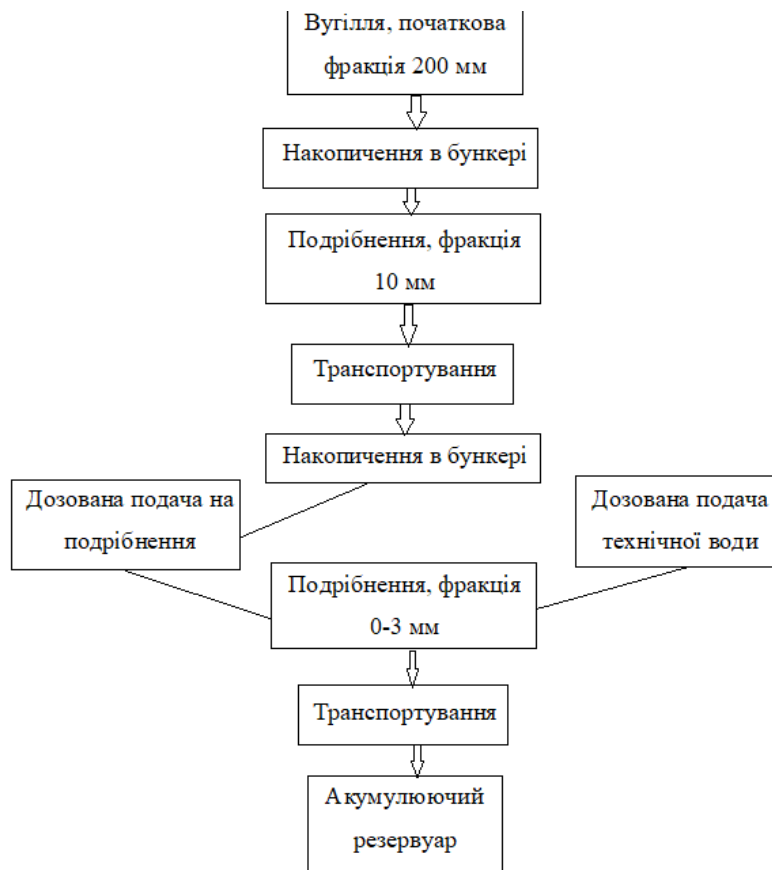


Рис. 2.1 Технологічна схема приготування грубодисперсної водовугільної суспензії

Швидкість транспортування суспензії трубопроводом була прийнята рівною 1,67 м/с. При діаметрі трубопроводу 400 мм річна продуктивність становила 4,31 млн. т.

На терміналі комплексу на ТЕЦ в Кропивницькому передбачалося будівництво зневоднюючої фабрики для прийому та зневоднення водовугільної суспензії, освітлення технологічної води та підготовки вугілля до спалювання (див. рис. 2.1 та 2.2). З урахуванням роботи аналогічного комплексу на «Блек-Меса» одна з основних технологічних операцій —

зневоднення вугільної суспензії здійснювалася в осадово-фільтруючих центрифугах «1/2ФГП-401К-04». Для інтенсифікації процесу зневоднення в фільтруючу зону центрифуги подавався перегріта водяна пара [40]. Установа освітлювально-фільтруючих центрифуг дозволила б забезпечити отримання необхідну вологість осаду без термічного сушіння і значно меншими енергетичними витратами порівняно з аналогічними процесами на «Кадіс-Іст-Лейк» і «Блек Меса». Згідно з технологічною схемою грубодисперсна водовугільна суспензія з магістрального трубопроводу розвантажується в три приймальні бункери місткістю по 20 000 м³.

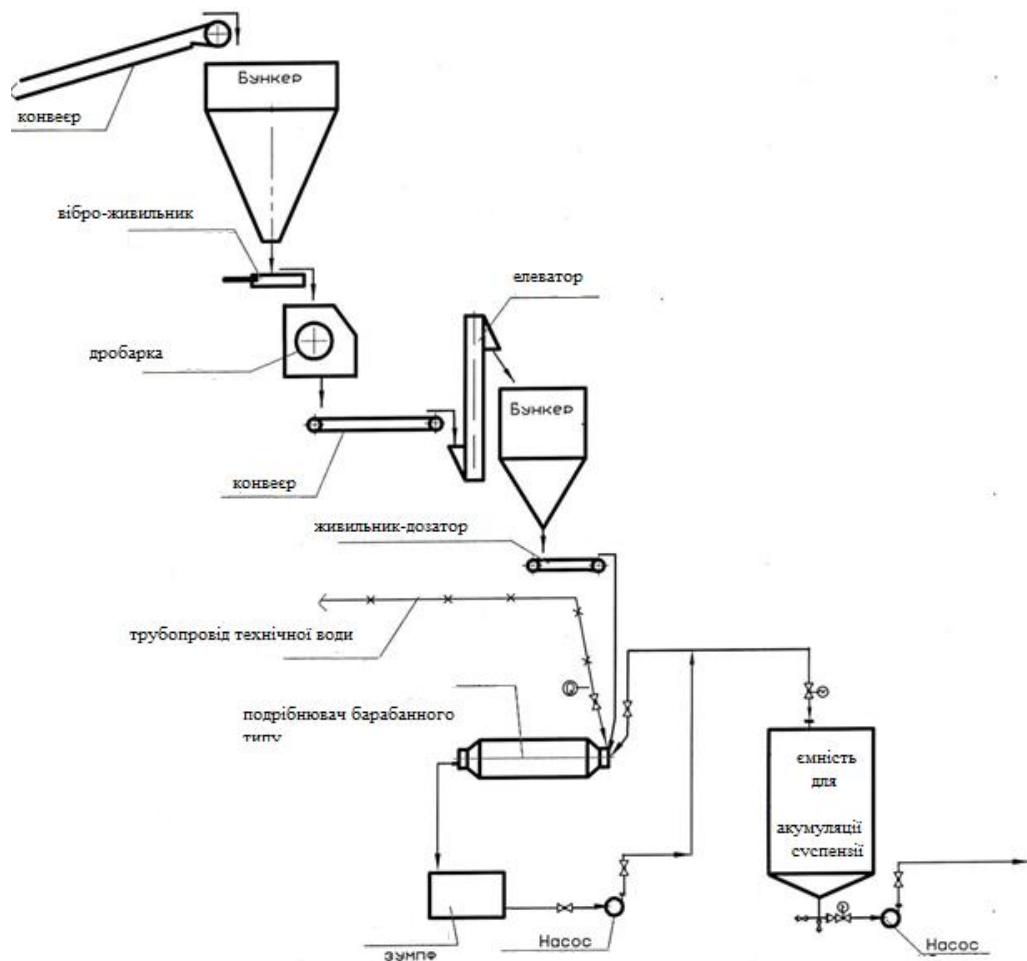


Рис. 2.1 Апаратне оформлення технології виготовлення грубодисперсної водовугільної суспензії (без попереднього збагачення вугілля).

Звідки водовугільна суспензія відцентровими насосами через розподільник подається на зневоднення в осадово-фільтруючі центрифуги «1/2ФГП-401К-04» із застосуванням перегрітої пари. Загальна кількість центрифуг, згідно

проекту 24 шт, з яких у роботі знаходяться 16. Зневоднене вугілля з вологістю не більше 22 % подається на додаткове подрібнення з одночасним підсушуванням і пилоподібним спалюванням в топках котлів. Фугат і фільтрат центрифуг спрямовуються в освітлювачі-шламонакопичувачі з тонкошаровими насадками, в яких здійснюється освітлення технологічної води та отримання згущеного продукту з тонкодисперсною твердою фазою. З вологістю 67 % згущений продукт прямує до топки котлів для прямого спалювання.

Розроблена технологічна схема відрізняється простотою, високою надійністю та екологічністю. Згідно з проектом уловлювання твердої фази водокутної суспензії забезпечується більш ніж на 90%.

Аналізуючи роботу вуглепроводу «Блек Меса» та технічного проекту КП «Теплоенергетик», необхідно відзначити наступні переваги американського аналогу на основі ВВС у порівнянні з середньо концентрованою грубодисперсною суспензією:

1) усі операції з переробки вугілля можуть бути об'єднані та здійснюватися на одному заводі з приготування висококонцентрованої водовугільної суспензії на місці видобутку вугілля;

2) можливе поєднання процесу збагачення вугілля та одержання ВВС, що покращує енергетичну цінність водовугільного палива та знижує витрати на гідротранспорт;

3) знижуються витрати води, що особливо важливо для районів, що випробовують нестачу у водних ресурсах;

4) можливе транспортування ВВС іншими видами транспорту (автомобільним, залізничним, річковим, морським), що розширює ринок збуту палива;

5) пряме спалювання ВВС у котлах різко скорочує витрати на електростанції за рахунок виключення операцій із зневоднення та додаткового диспергування вугілля, освітлення технологічної води;

б) спалювання вугілля у вигляді ВВС забезпечує зниження шкідливих викидів в атмосферу в порівнянні з пилоподібним спалюванням.

Однак разом із зазначеними вище технічними та екологічними перевагами на основі водовугільного палива варто мати на увазі існуючі проблеми, притаманні цій технології:

- 1) перевитрата палива через нижчу теплоту згоряння палива. Кожні 10 % вологи, що є у ВВС, приблизно на 1 % знижують ККД котла;
- 2) додаткові витрати, пов'язані з використанням реагенту-пластифікатора;
- 3) додаткові витрати, пов'язані з розпилюванням високов'язкого палива в топках котлів.

Тому рішення про застосування тієї чи іншої технології має прийматись після техніко-економічного обґрунтування для кожного конкретного випадку з урахуванням технічних характеристик та ефективності роботи лінійної частини ТЕЦ.

2.2. Технологія одержання тонкодисперсних водовугільних суспензій.

Основними апаратами з переробки водовугільної суміші у традиційних технологіях виробництва є кульові або стрижневі барабанні млини мокрого помелу. За режимом роботи млини поділяють на машини періодичної та безперервної дії.

Залежно від форми барабана розрізняють млини циліндро-конічні та циліндричні. Циліндричні млини бувають трьох типів – короткі, довгі та трубні. У коротких млинів довжина менше діаметра або близька до нього; у довгих - вона досягає 2-3 діаметри, а у трубних - довжина барабана більше діаметра не менше ніж у три рази.

Залежно від виду подрібнюючого середовища розрізняють млини кульові, стрижневі, галькові. У кульових млинів подрібнююче середовище представлене стальними або чавунними кулями; у стрижневих – сталевими стрижнями.

Залежно від способу розвантаження подрібненого продукту розрізняють млини з центральним розвантаженням і розвантаженням через решітку. У млинів з розвантаженням через ґрати є підйомний пристрій, що примусово розвантажує подрібнений продукт.

Барабанні млини є пустотілим барабаном, закритим торцевими кришками, в центрі яких є порожнисті цапфи.

Кульові та стрижневі млини, призначені для тонкого подрібнення, можуть працювати: у відкритому, замкнутому та напівзамкнутому циклах [41]. Подрібнення у відкритому циклі, тобто без сполучення млина з класифікуючим пристроєм, застосовується, коли все розвантаження млина може вважатися готовим продуктом.

Для приготування водовугільного палива у кульовому млині використовується мокре подрібнення вугілля у напівзамкнутому циклі. Млини характеризуються внутрішнім діаметром барабана та його робочою довжиною.

Останнім часом промислове застосування отримують млини з більшою швидкістю докладання руйнівних зусиль, ніж у барабанних млинів. До них відносяться вібраційні, відцентрові, струменеві та інші подрібнювачі.

Вібраційний млин є камерою, заповненою завантаженням, що складається з оброблюваного матеріалу і тіл, що розмелюють (кулі, циліндри, стрижні, валки). Завантаженню надається рух за допомогою періодичного вібраційного струсу камери або розташованих у ній спеціальних тіл. В результаті цього виникає відносний рух частинок завантаження, в зонах їх контакту створюються високі механічні напруги, які призводять до руйнування твердих частинок.

Залежно від умов обробки, типу і властивості оброблюваного матеріалу, характеристик тіл і середовища, що мелють, параметрів процесу в вібраційних млинах реалізуються різні технологічні операції подрібнення, деструкція, ущільнення матеріалів, поверхнева обробка та інше.

Два основні види вібраційних млинів – з рухомою та нерухомою робочою камерою, в якій рух надається завантаженню спеціальними вібруючими поверхнями.

2.3. Технологія спалювання водовугільного палива

Спалювання грубодисперсних водовугільних суспензій після їх зневоднення проводиться аналогічно до пиловугільного спалювання рядового вугілля.

Властивості ВВС нагадують властивості паливного мазуту (таблиця 2.1), за винятком того, що ВВС має нижчу теплотворну здатність і вищу в'язкість.

Таблиця 2.1 - Характеристики ВВС

Параметри	ВВС	МВС*	Водногудронова емульсія (контрольний варіант)	Насичений вуглеродом мазут (контрольний варіант)
Тверді частки	Вуголь	Вуголь	Гудрон	-
Рідина	Вода	Мазут	Вода	Мазут
Вміст твердої фази в ВВС, %	75	50	70-75	-
Ефективна в'язкість, мПА·с	500-1500 (при нормальній температурі)	1000-1250 (70°C)	500-1000 (при нормальній температурі)	80-800 (50°C)
Щільність, т/м ³	1,2-1,3 (при нормальній температурі)	1,1 (70°C)	0,98-1,02 (при нормальній температурі)	0,8-0,95 (15°C)
Нижня теплота згорання, кДж/кг	17000-21000	36000	30000-32000	43000-46000
Зольність, %	5-10	4-7	0,1-0,3	<0,1

МВС* – мазутовугільна суміш (мазутовугільне суспензійне паливо високої концентрації).

Спалювання ВВС у котлах або нагрівальних печах зазвичай здійснюється шляхом його розпилення, як і у випадку з мазутним паливом. Таким чином, концентрація вугілля (масова частка твердої фази в паливі), крупність частинок і в'язкість стають найбільш важливими факторами для спалювання. Далі розглянемо, який вплив ці три чинники надають спалювання.

ВВС так само, як і мазутне паливо, спалюється у процесі його розпилення. Спалювач складається з форсунки для розпилення палива, стабілізатора полум'я, що підтримує температуру займання, спеціальної камери нагнітання повітря для спалювання та повітряної форсунки. Оскільки за своїми характеристиками ВВС істотно відрізняється від мазутного палива, необхідно докладати всіх зусиль, щоб спалювання проходило стабільно та чисто.

Модель факела спалювання ВВС. Розпорошені краплі ВВС, що потрапляють у топкову камеру, нагріваються як за рахунок теплоти радіаційного випромінювання від полум'я, так і за рахунок високої температури газоподібних продуктів згоряння. Потім процеси розвиваються в наступному порядку: випаровування вологи, вихід летючих речовин і утворення полум'я. ВВС згоряє у полум'ї, перемішуючись з вторинним повітрям, і формує тим самим умови згоряння для летких речовин, що відокремилися від вугільних частинок. Активоване вугілля, що залишилося після згоряння летких, переміщується з вторинним повітрям для згоряння, формуючи шар горіння активованого вугілля. Грубодисперсні частинки переміщуються до виходу камери топки ще до завершення спалювання і стають основною складовою незгорілих залишків у золі.

Середній діаметр крапель ВВС, що розпилюються, більший, ніж діаметр тонко дисперсних вугільних частинок. Кожна окремо взята крапля ВВС складається з кількох або кількох десятків тонко дисперсних вугільних частинок. Якщо вугільні частинки в краплі ВВС спікаються, тобто агломерують під час випаровування вологи, то з них утворюються частинки

більшого діаметру, ніж тонкодисперсні, які можуть потрапити в залишок, що не згорів.

При спалюванні ВВС має місце процес випаровування води до спалювання краплі ВВС. Отже, щоб отримати стабільне полум'я, слід мати пальник спеціальної конструкції, який відрізняється від спалювача для мазутного палива. Основними конструктивними особливостями пальника ВВС є спосіб отримання тонко дисперсних частинок вугілля для забезпечення швидкого випаровування води і спеціальна організація стабілізації полум'я шляхом циркуляції горючих газів високою температурою в зону займання.

Оскільки ВВС спалюється шляхом розпилення, виходить вигідніше співвідношення палива та повітря. Крім того, збільшується довжина полум'я на 20-30 % порівняно з тим, що можна отримати при спалюванні тонко дисперсних вугільних частинок.

При спалюванні ВВС має місце наступна реакція водяної пари в зоні згоряння: $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$.

За цією реакцією відносна випромінювальна здатність полум'я спалювання ВВС в основній зоні горіння стає нижчою, ніж при горінні тонко дисперсних вугільних частинок.

Температура полум'я ВВС нижче приблизно на 100°C, ніж при горінні тонко дисперсних вугільних частинок, що викликано витратою тепла на приховану теплоту пароутворення води, що міститься в ВВС.

Оскільки паливо добре змішується з повітрям завдяки розпилюванню при спалюванні, то на відміну від спалювання тонко дисперсних вугільних частинок обсяг NO_x -з'єднань, що утворюються органічним азотом, що міститься в паливі (паливних NO_x), збільшується, а об'єм NO_x -з'єднань, утворених азотом, що міститься в повітрі (термічних NO_x), навпаки, скорочується через низьку температуру полум'я, причому на виході з топки вони знаходяться на одному рівні (див. рис. 2.3).

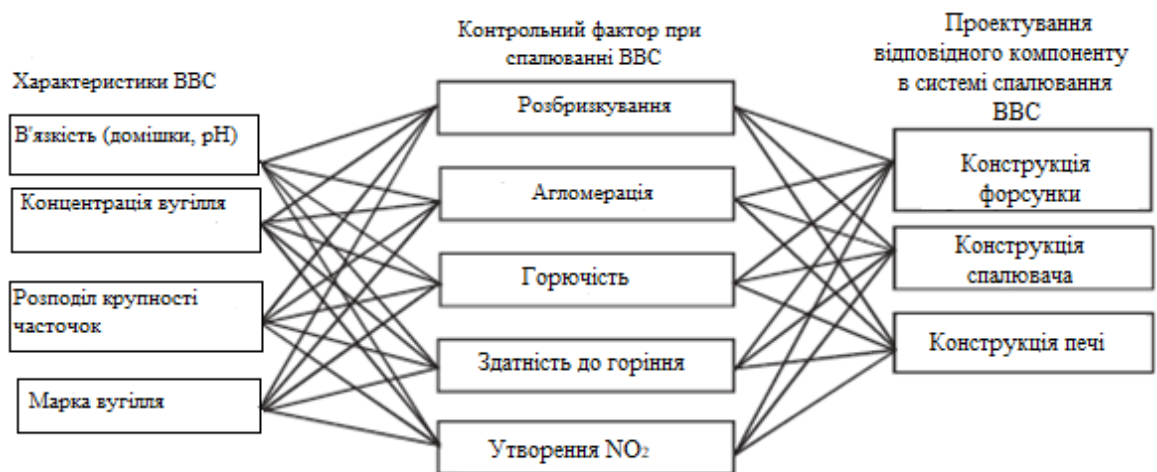


Рис. 2.3 – Домінуючі фактори при спалюванні ВВС

На рис. 2.3 показані домінуючі фактори, що впливають на спалювання ВВС. Крім конструкції пальника і форсунки на спалювання ВВС надають сильний вплив характеристики цього палива. В результаті для отримання необхідного рівня запалювання ВВС, необхідно контролювати характеристики ВВС, щоб вони відповідали параметрам спалювання палива при його розпиленні.

Конструкція пальника. Використовуване паливо (ВВС) містить тверді частинки на відміну від мазутного палива, що використовується. Отже, для пальника, що застосовується для спалювання ВВС, необхідно забезпечити відповідну систему займання та спалювання, а також зручностей обслуговування та зносостійкість. Зокрема, так як ВВС переважно містить воду і вугільні частинки, потрібно, щоб в пальнику забезпечувалося надійне займання і виключалося забивання каналів форсунки твердими частинками.

Форсунки для розпилення загалом поділяються на 3 основні типи: механічні, в яких розщеплення здійснюється за рахунок механічного впливу робочого органу або енергії палива, що подається; пневмомеханічні, в яких розпилення здійснюється за рахунок одночасного впливу розпилювального агента і енергії палива, що подається; пневматичні, в яких розпилення здійснюється за рахунок енергії розпилювального агента стисненого повітря або водяної пари. Маючи справу з рідиною підвищеної в'язкості, якою є ВВС, зазвичай використовують пневмомеханічні форсунки. Форсунки цього типу

можна поділити на три види: внутрішнього, середнього та зовнішнього перемішування, залежно від того, на якій ділянці відбувається перемішування. Розпилювач середнього типу перемішування є найбільш відповідним з точки зору обсягу розпилення та його ефективності.

У розпилюючому пристрої тверді частинки переміщуються з великою швидкістю, що викликає дуже знос. Тому деталі форсунок, де швидкості руху ВВС великі, забезпечуються зносостійкими вставками, що виготовляються з високоміцних металевих матеріалів або мінералокераміки. З використанням зносостійких деталей розпилюючий пристрій служить у кілька десятків разів довше, порівняно зі звичайними деталями. При цьому зносостійкість форсунок сягає кількох тисяч годин. У табл. 2.2 представлений приклад особливостей конструкцій котла, що працює на газі, мазуті та вугіллі як паливо.

Таблиця 2.2 – Основні параметри котла для різних видів палива

Параметри	Газове паливо	Мазутне паливо	Вугільн паливо
Співвідношення об'єму топки	1	1,3	1,9
Коефіцієнт площі теплообміну топки	1	1,3	1,7
Норма тепловиділення: на площу поперечного перетину, МВт, м ² об'єм, кВт, м ³ зону горіння, МВт/м ²	6-8 250-500 1,1-1,3	6-8 250-500 1,3-1,7	3-7 100-200 0,8-1,3
Поток тепла до стени с водяним охолодженням, кВт/м ²	650	450-750	250-600
Температура газу на виході з топки, °С	1250-1450	1250-1450	1050-1350
Швидкість газу в частині конвективного нагріву, м/с	35	20-35	10-20
Перетин для проходу газів в частині конвективного нагріву, мм: більше 1050 °С 900-1050 °С менше 900 °С	50 - -	100-180 75-100 40-50	150-75 100-35 50-150

У разі, коли як паливо використовується ВВС, варто враховувати зміну

поглинання теплоти в топці та на ділянці конвективної теплопередачі, оскільки ВВС є паливом з великим вмістом вологи [41].

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Методика проведення досліджень.

У лабораторному масштабі отримання ВВС проводилося в режимі одностадійного мокрого подрібнення вугілля на лабораторному вібромлині продуктивністю 2 кг/год та в кульовому барабанному млині періодичної дії. Перед подачею в млиновий апарат вугілля зазнавало дроблення до розміру частинок не більше 3 мм. У разі отримання ВВС на основі суміші вугілля різної стадії метаморфізму, підготовка палива до переробки на ВВС включала після дроблення до 3мм шихтовку вугілля необхідної пропорції.

Кількість вугілля та води, що подаються до млинового апарату, визначали розрахунковим шляхом по масі сухого вугілля таким чином, щоб концентрація суспензії відповідала заданому значенню. Час подрібнення у млині визначалося емпірично після виходу частинок класу менше 0,05 мм. Вугілля подрібнювали переважно до розміру 200 мкм за умов ефективного спалювання пилоподібного бурового вугілля на ТЕЦ. Отримані суспензії гомогенізували в змішувачі протягом 5-15 хвилин при 800 об/хв.

Дослідно-промислові випробування проводили на базі наявного млинів в експериментальному цеху КП «Теплоенергетик», де було змонтовано технологічну лінію з виробництва ВВС, яка забезпечувала продуктивність по суспензії від 4 до 21 т/год.

Характеристики апаратного забезпечення отримання буровугільних ВВС представлені у таблиці 3.1. Випробування суспензії на статичну стабільність у дослідно-промисловому масштабі проводили в седиментаційних колонах методом відбору проб та їх дослідження на вміст твердої фази ВВС та гранулометричного розподілу частинок вугілля в суспензії.

Визначення динамічної стабільності проводилося на гідродинамічному стенді. Визначення вологоємності вугілля проводилося за загальноприйнятими методиками [43].

Таблиця 3.1 - Технічне забезпечення отримання ВВС

Назва	Характеристики
Кран грейферний	$N_{\text{дв}}=57,5$ КВт
Живильник пластинчатий	Об'єм 15м^3
Дробарка щокова	$Q=30-60\text{т/ч}$; $N_{\text{дв}}=2.8$ КВт; $n=980\text{об/мин}$
Транспортер стрічковий	$13,5\times 0,5\text{м}$; $N_{\text{дв}}=2,8$ КВт; $n=950\text{об/мин}$
Транспортер стрічковий	$42,7\times 0,5\text{м}$; $N_{\text{дв}}=4,5$ КВт; $n=950\text{об/мин}$
Дробарка конусна КСД-1200А	$Q=18-90\text{т/ч}$; $N_{\text{дв}}=75$ КВт; $n=730\text{об/мин}$
Транспортер стрічковий	$83\times 0,5\text{м}$; $N_{\text{дв}}=10$ КВт; $n=950\text{об/мин}$
Транспортер реверсивний	-
Бункер	Об'єм 40м^3
Живильник тарільчатий	$D=1600\text{мм}$; $N_{\text{дв}}=2,5$ КВт; $n=1000-3000\text{об/мин}$
Вимірювач ваги стрічковий	$Q=0-16$ т/ч
Лічильник витрати води ВД-50	-
Кульовий млин ШР-4	$D=2100\text{мм}$; $L=1500\text{мм}$; $Q=15\text{т/ч}$; $N_{\text{дв}}=160$ КВт; $n_{\text{дв}}=730\text{об/мин}$; $n_{\text{мельницы}}=24,5\text{об/мин}$; шаровая нагрузка 12т
Змішувач	6м^3
Насос ЗГРТ	$Q=50\text{м}^3$; $N_{\text{дв}}=7$ КВт
Млин СМ-436	$D=1500\text{мм}$; $L=5600\text{мм}$; $Q=5\text{т/ч}$ по сухому углю; $N_{\text{дв}}=100$ КВт; $n_{\text{дв}}=725\text{об/мин}$; $n_{\text{мельницы}}=28\text{об/мин}$
Змішувач	50м^3 ; $N_{\text{дв}}=4,5$ КВт

3.2. Характеристика вихідної сировини

Для дослідів з приготування суспензій у роботі використано шихту із вмістом бурого вугілля Дніпровського родовища від 5 до 50 %. В якості твердої фаза для приготування ВВС подавалося кам'яне вугілля марки Д ковальського вугільного басейну, буре вугілля марки Б2 Березовського родовища Львівсько-Волинського вугільного басейну та суміш цього вугілля. Фізико-хімічний склад вугілля наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Фізико-хімічні характеристики вугілля

Марка вугілля	Вміст, % *										Q^{daf}, s МДж/кг
	W^r_t	W^{ru}	A^{d**}	$V^{\text{daf}*}$ **	C^d	H^{daf}	S^{daf}	N^{daf}	O^{daf}	$(HA)^{\text{daf}}_t$	
Д	9,1	7,7	19,8	42,9	79,2	5,3	0,28	0,95	14,3	-	31,5
Б	17,7	15,6	4,9	49,8	72,2	4,7	0,24	0,86	22,0	34,8	27,8

Примітка: * W^r – вологи робочої; W^{ru} – вологи гігроскопічної; A^d – зольності; S^{daf} – сірки; V^{daf} – летких; C^d – вуглецю; H^{daf} – водню; O^{daf} – кисню; N^{daf} – азоту; $(HA)^{\text{daf}}_t$ – кумінових кислот; Q^{daf} – теплота спалення; d^{**} – вміст на суху масу вугілля; d^{daf***} – на горючу масу вугілля. В якості рідкої фази для отримання ВВС у лабораторному масштабі використовували питну воду. При отриманні ВВС на промисловому устаткуванні використано технологічну воду КП «Теплоенергетик», хімічний склад якої наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Фізико-хімічний склад технологічної води

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3
pH	-	8,2-9,4
Загальна жорсткість	мг-екв./л	2,0-2,8
Загальна лужність	-«-«-«-	1,6-1,7
Лужність гідрокарбонатів	-«-«-«-	1,5-2,2
ХПК	-«-«-«-	18,2-22,1
Мінеральний склад	-«-«-«-	229-280

Продовження таблиці 3.3

1	2	3
Сухий залишок	-«-«-	174-212
Вміст: хлоридів	-«-«-	0,8-3,4
сульфатів	-«-«-	38,4-33,6
нітратів (по азоту)	-«-«-	0,4
карбонатів	-«-«-	0-18
гідрокарбонатів	-«-«-	122-152
натрію	-«-«-	21,1-32,0
кальцію	-«-«-	19,7-32,0
магнію	-«-«-	5,1-6,0
заліза	-«-«-	0,6-0,9
алюмінія	-«-«-	1,2-5,1
калію	-«-«-	9,8-17,0

В якості домішок використовували технічні та модифіковані лігносульфонати (Procon Pave B) [44].

Таблиця 3.4 – Характеристика лігносульфонатів.

Домішка	Вміст сухих речовин, %	Молекулярна маса, а.е.м.	pH
ЛСТ	54,5	$31 \cdot 10^3$	5,0
ЛСМ 1	45,0	$48 \cdot 10^3$	9,0
ЛСМ 2	52,0	$52,1 \cdot 10^3$	8,0
ЛСМ 364	50,0	$50,4 \cdot 10^3$	5,0
ЛСМ 363	50,0	$50,2 \cdot 10^3$	6,0

РОЗДІЛ 4

ОТРИМАННЯ СТАБІЛЬНИХ ВОДОВУГІЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ

Для отримання даних про вплив на експлуатаційні характеристики пластифікуючих домішок, фізико-хімічних характеристик вихідного вугілля, температурних впливів було проведено низку досліджень.

4.1. Вплив якості робочого середовища на властивості водовугільних суспензій

У роботі було отримано та досліджено ВВС на основі бурого вугілля марки Б Дніпровського вугільного басейну. Процес отримання водовугільної суспензії включав такі операції: подрібнення вихідного вугілля до 3 мм; тонкий подрібнення вугілля в млині разом з водною фазою; перемішування. В установці млинів вугілля подрібнювали переважно до класу 0–0,4 мм. Максимальний розмір часток не перевищував 1 мм. Вміст класів менше 0,05 мм становив 50-70 %. Час подрібнення в млині в середньому становив 40-60 хвилин.

Отримана ВВС аналізувалась на масову частку твердого, гранулометричний склад, реологічні характеристики. Вміст твердої фази у ВВС визначали висушуванням при температурі 105°C, гранулометричний склад – методом вологого фракціонування на ситах за стандартною методикою [45]. Реологічні характеристики вивчали на ротаційному віскозиметрі THERMO Viscotester 2 plus в діапазоні в'язкості 30 - 400000 сП/мПа*с.

Завданням роботи було визначення можливих джерел технічної води для приготування водовугільних суспензій та дослідження впливу складу цієї води на реологічні властивості суспензій.

Досліджено дренажні води, побутові та промислові стоки (КП «Теплоенергетик», котельня ТЕЦ). Хімічний аналіз технічних вод показує, що вони у порівнянні з водопровідною мають підвищену жорсткість та високий вміст солей натрію, кальцію, магнію та хлоридів. Загальний вміст солі в

технічних водах вище в 4-5 разів, ніж у водопровідній воді. Стічні води в порівнянні з дренажними характеризуються високим вмістом аніонів хлору (в 15 разів), а за загальним вмістом солей різняться незначно (в 1,2 рази). Високий вміст хлоридів у очищених стоках обумовлено їх обробкою хлорним вапном з метою дезінфекції.

На малюнку 4.1 показано вплив води на структурну в'язкість ВВС з різним вмістом твердої фази. Для порівняння застосовувалася дистильована вода, що характеризується відсутністю солей. Реологія порівнювалася за однакових умов приготування суспензій.

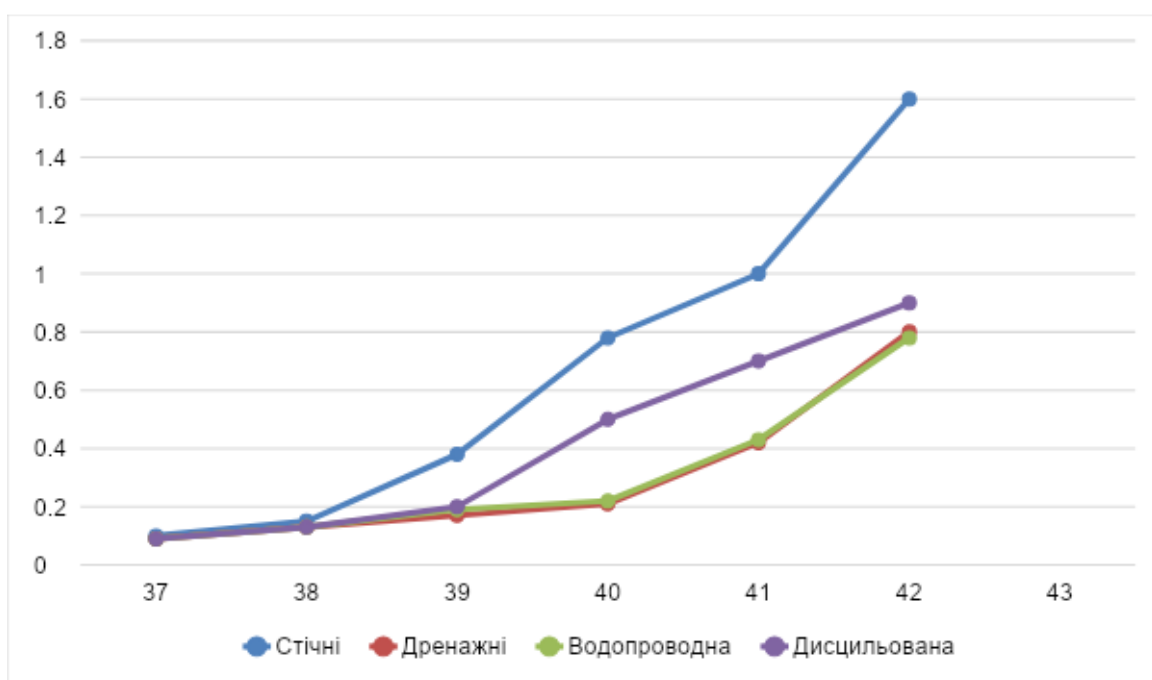


Рис. 4.1 – Залежність структурної в'язкості ВУС від вмісту твердої фази під час використання технічної води: 1 – стічна; 2 – дренажна; 3 – водопровідна; 4 – дистильована

Використання в якості пластифікаторів лігносульфонатних та лужних домішок покращує реологічні характеристики ВВС. Однак характер цієї залежності зберігається таким самим, що і без застосування домішок. Порівняльна оцінка в'язкотекучих характеристик суспензій показала, що ефективність зниження динамічної напруги зсуву та структурної в'язкості з домішками лугу та модифікованими лігносульфонатами (МЛСФ) від виду води розташовується в наступному ряду: водопровідна > дренажна > стічна.

Ефективність дії домішок знижується зі збільшенням кількості солей, що містяться у воді. Для отримання того ж ступеня зниження в'язкості ВВС з технічними водами порівняно з водопровідною необхідно підвищити витрату добавки МЛСФ приблизно в 1,5 рази, а NaOH - в 1,3 рази.

У ході роботи досліджено також можливість використання в якості рідкої фази стічних вод після гідрозоловидалення. Експерименти з приготування ВВС проводилися з використанням однієї стічної води та разом із пластифікатором МЛСФ. Технічна вода мала такі характеристики: показник рН – 12,1, жорсткість загальна – 17,5 мг-екв/л, жорсткість гідрокарбонатів – 15 мг-екв/л, лужність загальна – 10,2 мг-екв/л, вміст хлоридів – 380 мг/л, вміст сульфатів – 235 мг/л, загальний вміст солей – 1750 мг/л. В якості твердої фази при проведенні досліджень використовувалося буре вугілля Дніпровського вугільного басейну марки Б.

Таблиця 4.1. Характеристика ВВС.

Масова доля твердої фази, %	В'язкість диференцій на при 10с ⁻¹ , Па·с	В'язкість структур- на, Па·с	Динамічне напруження зсуву, Па	Коефіцієнт консистент- ності, Па·с ⁿ	Індекс потoku	Калорійніс- ть Q _i ^r , ккал/кг
З використанням лише стічної води						
52,6	9,25	3,82	33,1	23,6	0,58	2866,5
51,3	2,87	2,2	13,2	2,4	1,05	2780,9
49,8	0,88	1,1	4,02	0,52	1,21	2682,2
Стічна вода з пластифікатором ЛСМ						
52,93	2,56	1,84	6,13	3,25	0,896	2882,0
52,44	2,01	1,38	4,87	2,75	0,863	2849,9
52,11	1,39	0,93	3,33	1,96	0,850	2828,3

У таблиці 4.1 представлені результати експериментів щодо приготування ВВС з використанням тільки стічної води та з пластифікатором у кількості 1 % у перерахунку на активну речовину. Варто зазначити значне зниження в'язкості при високих значеннях масової частки твердої фази ВВС.

Аналогічно відбувається і зниження динамічної напруги зсуву. Це пов'язано з тим, що величина межі плинності залежить від структури суспензії. Отримані результати показали, що найнижчими реологічними показниками характеризуються суспензії, виготовлені на стічній воді з пластифікатором МЛСФ.

З метою збільшення калорійності досліджувалася також можливість отримання ВВС із суміші вугілля різного ступеня метаморфізму із застосуванням стічних вод після гідрозоловидалення в дослідно-промисловому масштабі. На дослідно-промисловому стенді (див. рис. 3.2) продуктивністю 10 т/год проведено випробування з отримання ВВС із шихти бурого вугілля марки Б та кам'яного марки Д у відсотковому відношенні 75:25.

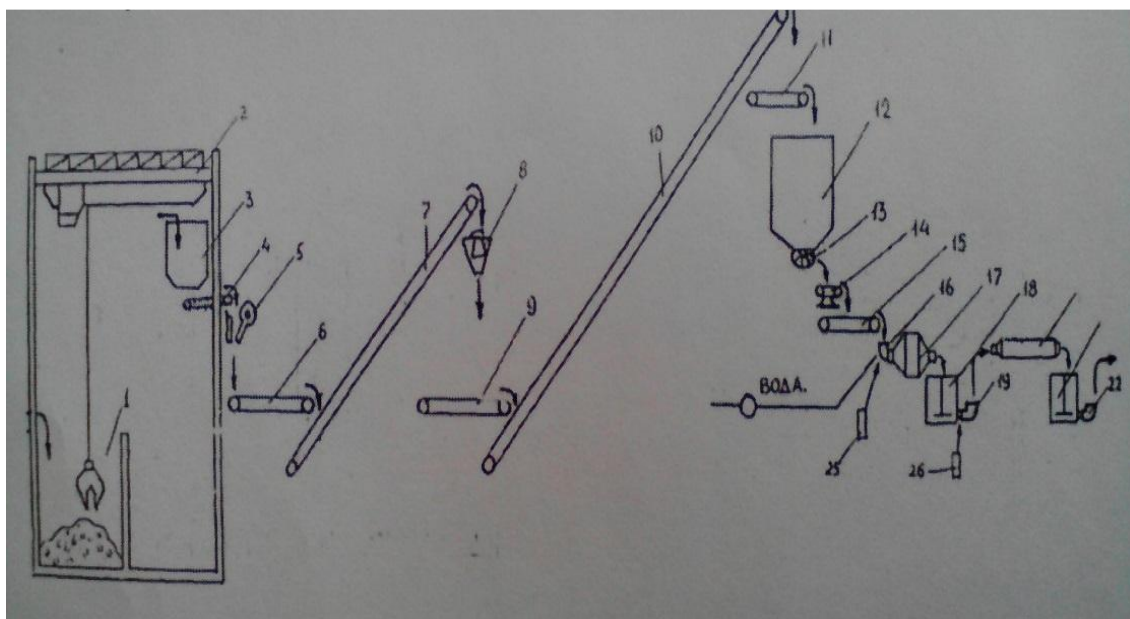


Рис. 4.2 – Технологічна схема отримання ВВС.

Шихту зі складу (1) подавали грейферним краном (2) бункер (3), з якого пластинчастим живильником (4) подавали в щоківу дробарку (5). Дроблене вугілля надходило з стрічкових транспортерів (6), (7) в конусну дробарку (8), а потім стрічковим транспортером (10) і реверсивним (9), (11) надходило в бункер (12), з бункера вугілля через тарілчастий живильник (13) подавався на стрічковий вимірювач ваги (14) і дозувався в кульовий млин (17). Одночасно до млина через витратомір (16) подавалася вода та водний розчин

пластифікатора з мірників (25), (26). З кульового млина суспензія самопливом надходила в ємність з мішалкою (18) і далі насосом (19) в цільпелесний млин (20). Після цільпелесного млина суспензія самопливом надходила в ємність з мішалкою (21) і далі насосом (22) в ємність об'ємом 40 м³ з мішалкою для зберігання, звідки насосом (24) перекачувала автоцистерни для перевезення на ТЕЦ для досвідченого спалювання. Установка була обладнана контрольно-вимірювальною апаратурою.

Рисунок 4.3 показує, що використання в якості робочого середовища стічної води дозволяє знизити структурну в'язкість ВВС порівняно з питною та отримати водовугільні суспензії з вмістом твердої фази 48–50 % при значеннях в'язкості в межах 1 Па·с. У цьому випадку вміст твердої фази на 5–7 % більший, ніж у ВВС із одного бурого вугілля.

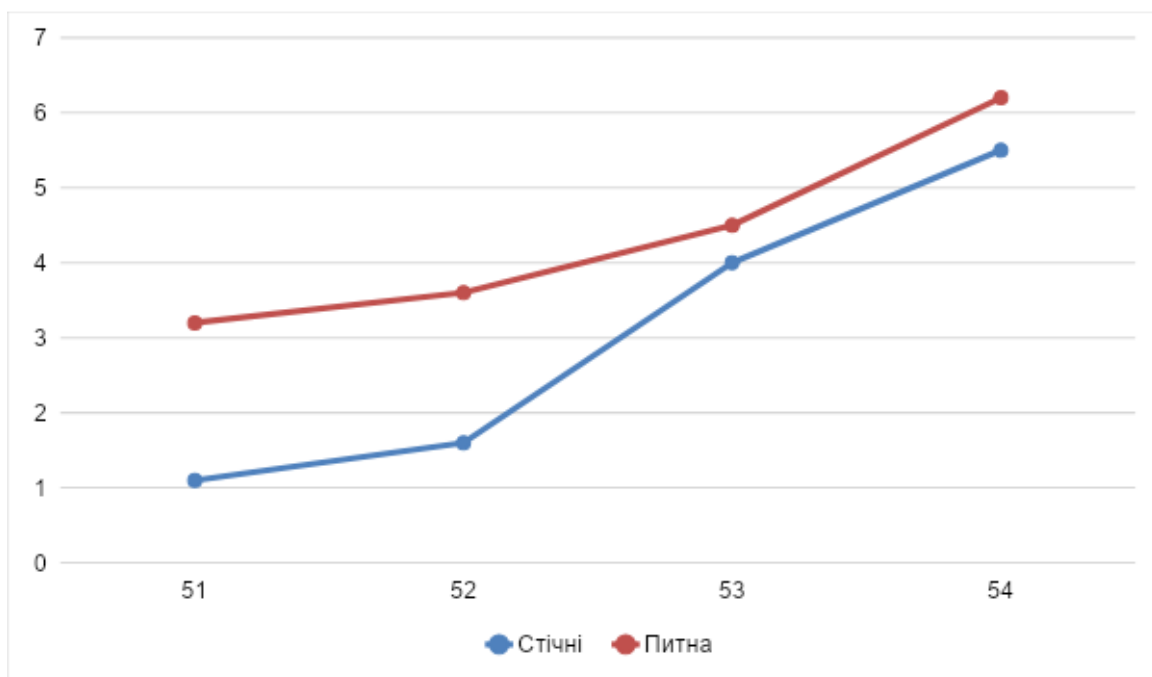


Рис 4.3 – Залежність структурної в'язкості ВВС від типу води (співвідношення кам'яного вугілля до бурого 25:75) 1 – питна; 2 – стічна.

Таким чином, в ході роботи доведено можливість отримання водовугільних паливних суспензій з відходів виробництв, зокрема технічної води, включаючи промислові, побутові стоки та стічні води після гідрозоловидалення як робоче середовище. Використання цих вод дозволяє отримувати ВВС з необхідними реологічними характеристиками та

статичною стабільністю. Хімічний склад води робить значний вплив на реологію водовугільних суспензій. Використання стічних вод у процесі отримання ВВС сприятиме економії водних ресурсів та покращенню екологічної обстановки.

4.2. Вплив системи розмелювання вугілля з отриманням бімодального складу шихти з добавкою бурого вугілля.

В ході експерименту для отримання ВВС різного складу використовувався млин циклічної дії типу. Розмелюючими елементами, служили кулі різного діаметру і цильпебси. Фізико-хімічні характеристики вугілля наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 4.2 - Фізико-хімічні властивості вугілля.

Вид вугілля	Вміст, % *									
	W^r_t	A^{d**}	V^{daf***}	S^{daf_t}	C^d_o	H^{daf}_o	N^{daf}	$(H^A_t)^{daf}$	Q^{daf}_o	$Q^{daf, s}$ МДж/кг
Буре	30,5	8,2	50,2	0,43	71,7	5,1	0,95	33,5	6660	3550
камінне	15,2	21,6	48,0	0,30	76,6	5,1	1,47	0	7110	4460
Суміш Б:Д (20:80)	18,3	22,1	42,5	0,28	77,1	5,2	2,03	0	7272	4328

З метою з'ясування реологічних характеристик та гранулометричного складу отриманих ВВС з різним співвідношенням бурового та кам'яного вугілля було проведено серію попередніх експериментів.

Дослідження показали, що найприйнятніші показники існують для ВВС із співвідношенням бурового вугілля з кам'яним 20:80. При цьому концентрація отриманих ВВС склала близько 54-55%, структурна в'язкість - 0,4-0,5 Па·с, концентрація домішки, що вводиться 1,2-1,4 %. Надалі у роботі використовували шихту із вмістом бурого вугілля 20 %.

Вугілля до млина подавалося попередньо подрібнене на шоківій дробарці до крупності 0-3 мм із вмістом тонкої фракції менше 50 мкм – 2,5-5%. В основному, інтервал значень становив 50-55 %. Кількість домішки С-3,

що вводиться, склала 1,4 % на абсолютно сухе вугілля. Завантаження тіл, що підлягали подрібненню, змінювалася таким чином, що відношення $R_{ш}/R_{ц}$ змінювалося від 9 до 14. Млин працював у періодичному режимі.

З метою отримання бімодального гранулометричного складу ВВС моделювався процес додавання вугілля нижчої стадії метаморфізму в ході розмелювання високо метаморфізованого вугілля і навпаки відповідно.

У ході роботи визначалися: вміст твердої фракції в ВВС, гранулометричний склад, реологічні характеристики, досліджувався вплив часу помелу, типу тіл, що мелють, складу вугілля. Дані цих досліджень наведені в таблиці 4.3, дозволяють зробити такі висновки. При співвідношенні $R_{к}/R_{ц}=14$ незалежно від типу тіл, що подрібнюють і якості завантажуваного вугілля, навіть при додаванні нових партій вугілля не отриманий бімодальний гранульований склад, хоча позитивним фактором в даній схемі розмелювання є високий вихід дрібної фракції 80-83 %. При зменшенні співвідношення $R_{к}/R_{ц}$ до 9 і такій схемі розмелювання, коли буре вугілля додається в кількості 20 % безпосередньо в процесі подрібнення кам'яного (після 20 хв) були отримані хороші результати.

Реологічні характеристики отриманих ВВС вище за необхідні значення (див. табл.4.4), але слід врахувати той факт, що масова частка твердої фракції в цих ВВС, приготованих із суміші вугілля, така висока, що наближається до кам'яновугільних ВВС, 56-57 %. Якщо ж знизити концентрацію твердого в ВУС на 1-2%, або збільшити відсоток хімічної добавки, що вводиться, реологічні характеристики даних ВВС можна навести прийнятним.

В роботі досліджувався вплив типу тіл, що мелють на гранулометричний склад ВВС і кінетику розмелювання (див. табл. 4.4.).

Сумарна маса тіл, що мелють, в кожній камері млина завжди була рівною, як і маса вугілля, що завантажуються. Співвідношення $R_{к}/R_{ц}$ дорівнювало 9. Проби відбиралися кожні 10 хвилин. Аналіз отриманих даних дозволяє говорити про те, що на кількість тонкої фракції тип тіл, що мелють, має неоднозначний вплив. На початкових стадіях дроблення цей вплив

Таблиця 4.3 – Залежність гранулометричного розподілу розміру частинок вугілля та реологічних характеристик ВВС від режимів роботи подрібнювального пристрою.

№ п/ п	Вміст твердої фракції в ВВС, %	Тип подрібнюючи х механізмів	Час подрібненн я, хв	вугіль	Вихід класів вугілля, %						К, Па· с ⁿ	n	τ ₀ , Па	μ ₀ , Па· с
					+1,0 мм	0,4- 1,0	0,2- 0,4	0,1- 0,2	0,05- 0,1	0,- 0,05 мм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	54,52	к.	20	К	0	0,03	0,07	20,5	15,8	62,76	11,17	0,36	14,9 2	0,52
2	43,09	ц.	20	Б	0	0,43	0,66	1075	9,92	78,2	1,52	0,62	2,87	0,25
3	54,7	к.	40	К	0	0	0,6	8,56	16,13	75,21	9,53	0,41	12,1 7	0,64
4	43,5	ц.	40	Б	0	0	0,16	3,33	9,28	87,1	1,6	0,63	3	0,31
5	56,2	к.	60	С	0	0,05	0,51	6,27	13,47	79,66	27,78	0,46	38,4 4	2,53
6	48,0	ц.	60	С	0	0,48	0,71	7,52	8,43	82,83	8,65	0,51	13,1	0,86
7	55,6	к.	10	К	0	1,93	17,5 3	27,8 8	9,63	42,9	4,28	0,46	6,92	0,31
8	54,0	ц.	10	К	0,6	1,15	14,0 8	32,3	11,14	40,5	5,36	0,53	9,67	0,54
9	55,5	к.	20	К	0	1,77	4,62	29,2	12,81	51,46	8,83	0,52	17,1 6	0,75
10	53,7	ц.	20	К	0,46	1,81	3,3	30,31	14,63	49,43	3,25	0,5	5,01	0,3
11	57,4	к.	30	С	0	0,18	3,12	24,1	14,58	57,87	25,7	0,53	38,5	3,22
12	55,7	ц.	30	С	4,1	0,16	1,78	24,8	13,57	55,44	15,74	0,58	29,1	1,75
13	57,0	к.	40	С	0	0,05	1,16	20,6	15,73	62,34	28,22	0,51	45,3	2,8
14	56,1	ц.	40	С	1,58	0,07	0,3	26,7 7	16,17	55,07	25,1	0,48	41,2	1,74

Примітка: к – кулі, ц – цильпеси, К – кам'яне вугілля, Б – буре, С – суміш.

Таблиця 4.4. залежність гранулометричного розподілу розміру частинок вугілля та реологічних характеристик ВУС від типу подрібнюючих тіл у млині Рк/Рц

№	Конц. %	Время помола, мин	уголь	Выход классов, %						К, Па·с n	n	τ ₀ , Па	μ ₀ , Па·с	Тип подрібнюючих елементів
				+1,0 мм	0,4- 1,0	0,2- 0,4	0,1- 0,2	0,005- 0,1	0,-0,05 мм					
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	56,4	10	Суміш 20:80	0,08	2,08	26,1	26,1	9,4	41,10	4,23	0,56	8,24	0,5	к
2	53,8	10		10,4	2,14	14,2	27,0	8,18	37,9	2,38	0,58	4,74	0,31	ц
3	56,4	20		-	0,08	4,31	32,2	14,31	49,16	6,01	0,51	9,87	0,56	к
4	54,5	20		13,4	0,33	1,6	26,2	11,17	47,1	4,22	0,51	7,11	0,41	ц
5	56,2	30		-	0,02	0,11	24,6	15,02	60,13	8,21	0,50	11,2	0,05	к
6	54,1	30		7,7	0,04	0,9	21,1	14,89	55,13	4,88	0,49	7,88	0,47	ц
7	55,5	40		0,08	0,05	0,56	18,4	15,38	65,42	10,4	0,46	15,02	0,82	к
8	54,1	40					5			1				
				2,51	0,07	0,57	17,2	15,43	64,27	5,53	0,48	8,21	0,5	ц

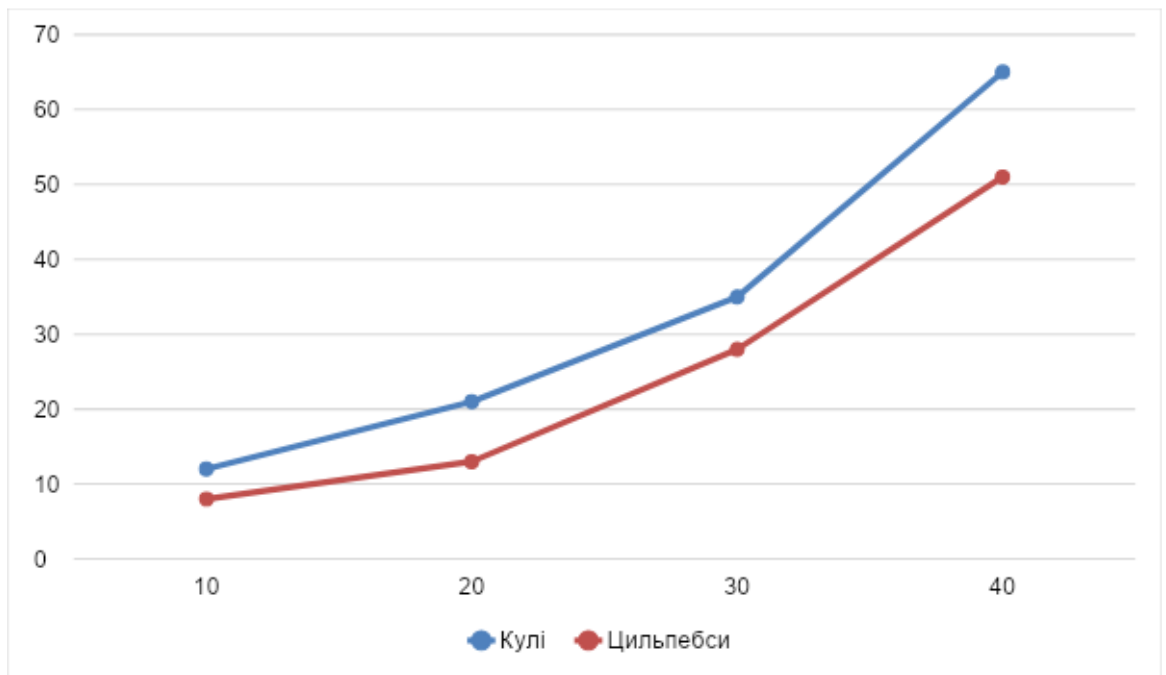


Рис. 4.4 – Кінетична залежність вміст тонкої фракції ВВС від типу тіл, що подрібнюють

помітніший (рис. 3.4). При збільшенні часу помелу різниця виходу тонкої фракції практично зникає і становить лише 1-3%. Бімодальний гранульований склад має місце як при розмелюванні в кульовій камері, так і в цільпелесній камері. Зміну реологічних характеристик отриманих ВВС слід розглядати як наслідок зміни гранульованого складу, на процентний вміст якого надає тип тіл, що мелють.

Таким чином, аналіз отриманих лабораторних даних дозволяє зробити висновок, що одним з основних факторів, що впливають на гранулометричний розподіл частинок вугілля в ВВС є якість матеріалу, що подрібнюється. Також велике значення з цієї точки зору має співвідношення тіл, що розмелють, і маси вугілля, що завантажуються.

4.3. Дослідження впливу процесу гомогенізації на реологічні параметри ВВС.

Проводили дослідження статичної седиментаційної стабільності ВВС із масовою часткою твердого 43,3, 57,7 та 56,0 %. До складу ВВС входила пластифікуюча домішка С-3 у кількості 1,0 % у перерахунку на активну

Таблиця 4.5 - Масова частка в пробах ВВС, відібраних на двох різних рівнях седиментаційних колон (гомогенізація через насос)

№ варіан ту	Час зберігання, діб	Масова частка твердої фракції на різних рівнях колони, %												
		Щойно приготовле на	До гомогенізації				Через 15 хвилин гомогенизації				Після 50 хвилин. гомогенизації			
			середина		низ		середина		низ		середина		низ	
			С, %	Ad, %	С, %	Ad, %	С, %	Ad, %	С, %	Ad, %	С, %	Ad, %	С, %	Ad, %
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	43,3	-	-	A ^d =19,1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	48,8	19,9	44,9	19,2	45,5	19,6	49,0	16,9	50,8	16,7	49,7	18,8
	15	-	50,2	18,6	45,4	19,5	46,2	19,2	48,8	17,2	50,1	18,1	51,6	18,6
	35	-	51,2	19,7	47,6	20,0	46,7	18,9	50,5	18,9	48,6	18,9	50,9	19,1
2	0	57,7	-	-	A ^d =10,9%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	57,6	10,65	57,7	10,81	57,3	10,78	58,1	10,54	57,4	10,74	57,4	10,87
	15	-	57,9	10,62	58,1	10,72	57,9	10,76	57,7	10,62	57,0	10,82	57,7	10,94
	35	-	57,2	11,03	58,2	11,05	57,0	10,98	57,9	10,84	57,3	10,97	57,9	11,06
3	0	56,0	-	-	A ^d =10,8%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	56,2	10,67	56,8	10,58	56,1	10,64	56,0	10,58	56,18	10,32	55,9	10,29
	15	-	56,0	10,84	59,2	10,66	56,2	10,76	56,4	10,61	56,9	10,74	56,6	10,58
	35	-	56,1	11,02	56,9	10,92	56,3	10,61	56,6	10,3	56,4	10,96	56,8	11,15

речовину. Гомогенізацію ВВС для підвищення седиментаційної та агрегативної стійкості проводили за рахунок проходження ВВС через насос (див. табл. 4.5). В цьому випадку гомогенізацію здійснювали шляхом перекачування ВВС по замкнутому циклу ємність - насос - ємність протягом 50 хвилин. Для кількісної оцінки стабільності ВВС використовували седиментаційні колони, які заливали ВВС.

У таблиці 4.5 наведено результат визначення масової частки твердого в пробах ВУС, відібраних на середньому та нижньому рівні седиментаційної колони, а також їх реологічні характеристики, отримані у процесі гомогенізації суміші шляхом пропускання через насос.

Внаслідок седиментації частинок у процесі зберігання ВВС відбувався перерозподіл концентрації вугілля за висотою седиментаційної колони.

Найменше перерозподіл концентрації частинок вугілля мало місце для ВУС після 50 хвилин циркуляції насосом без додаткових пристроїв.

Термін зберігання суспензій, як щойно приготованих, так і після циркуляції по контуру ємність-насос-ємність, становив 35 діб. При цьому значного збільшення концентрації на нижньому рівні не спостерігалось.

На підставі результатів отриманих після проведення експериментів можна стверджувати, що циркуляція ВВС по контуру ємність-насос-ємність дозволяє зберігати в часі однорідність концентрації ВВС.

Таким чином, отримані дані свідчать про наявність достатнього зв'язку седиментаційної стійкості водовугільних суспензій з міцністю їх структури за рахунок циркуляції ВУС по контуру ємність-насос-ємність при використанні насоса без додаткових пристроїв.

4.4. Дослідження впливу температури на реологічні характеристики суспензій.

Для зниження в'язкості та динамічної напруги зсуву суспензію вводили 0,2 % гідроксиду натрію. Для визначення реологічних характеристик при різних температурах проби суспензій спочатку перемішувалися в мішалці,

потім заливали вимірювальну порожнину приладу і термостувалися протягом 15 хв разом з вимірювальною системою.

Контроль концентрації твердої фази здійснювався до і після вимірювань відбором проб і подальшим висушуванням при температурі 105°C. Зміна концентрації з допомогою випаровування води до кінця досвіду вбирається у 0,3-0,5 %. На рис. 4.5-4.7 показані одержані температурні залежності реологічних характеристик суспензій. З графіків видно, що з підвищенні температури від 4 до 80oC структурна в'язкість суспензії, приготовленої без хімічної добавки і з добавкою зменшується приблизно 2,5 разу.

Ефективна в'язкість, виміряна при швидкості зсуву 10 с⁻¹, з підвищенням температури поводить ся трохи інакше. У суспензії без добавок спочатку зменшується, потім у діапазоні температур 60-80oC знову збільшується. У суспензії з лугом ефективна в'язкість практично не змінюється. Динамічне напруження зсуву у суспензії, отриманої без добавок, з підвищенням температури спочатку зменшується, а після 60oC збільшується. У суспензії з лугом цей параметр починає збільшуватись при температурі 20°C.

Однакова зміна в'язкості за різних температур суспензій з хімічною домішкою та без неї вказує на те, що природа процесу фізична. Зниження в'язкості суспензії з підвищенням температури можна пояснити тим, що в'язкість води з підвищенням температури зменшується.

Динамічна напруга зсуву визначає пружні властивості суспензій і залежить від взаємодії твердих частинок рідкої фази. Тверді частинки утворюють сітку, яка значно міцніша у суспензій без хімічних домішок.

У разі підвищення температури від 4 до 60°C пружні властивості цієї сітки зменшуються внаслідок зменшення взаємодії між частинками. При подальшому підвищенні температури ця взаємодія знову починає збільшуватися, очевидно, за рахунок збільшення обсягу частинок. Для

суспензій з добавкою гідроксиду натрію об'єм часток твердої фази починає збільшуватися за більш низьких температур.

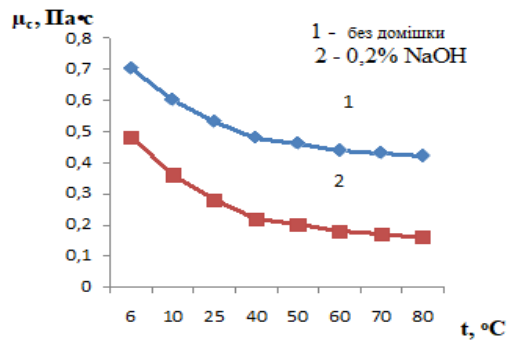


Рисунок 4.5 – Залежність структурної в'язкості μ_s ВВС з Дніпровського вугілля (Ств=40%, R50=25%).

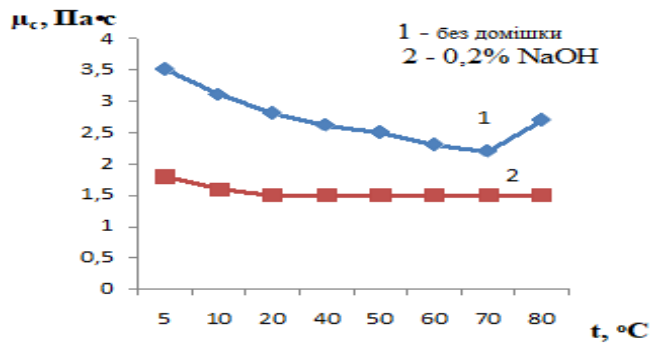


Рисунок 4.6 – Залежність ефективної в'язкості μ_e ВВС з Дніпровського вугілля (Ств=40%, R50=25%)

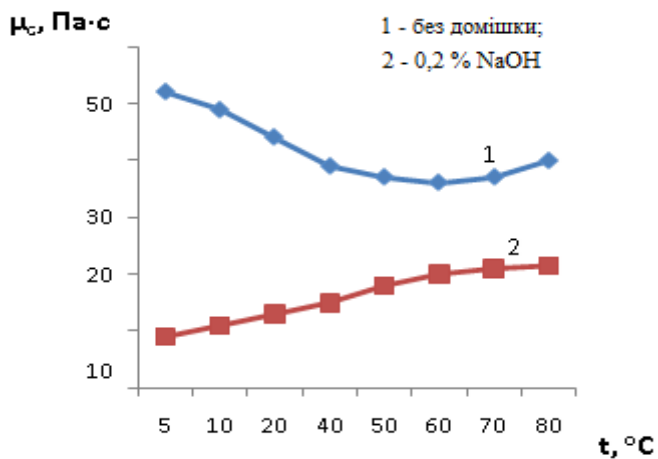


Рисунок 4.7 – Залежність динамічної напруги зсуву ВВС з Дніпровського вугілля (Ств=40%, R50=25%).

Це можна пояснити тим, що гідроксид натрію, взаємодіючи з вугіллям,

розпорошує поверхню частинок і починають збільшуватися в обсязі вже при 20°C.

4.5. Спалювання ВВП у теплогенераторах малої потужності.

Одна з розроблених та застосовуваних технологій – це отримання суспензійних водовугільних палив (ВВП). Дана технологія дозволяє створювати ефективні та надійні системи виробництва якісної теплової енергії у безпосередній близькості до локальних споживачів з урахуванням їх конкретних запитів. Інвестиційна привабливість обумовлена компактністю та високою екологічністю.

Таблиця 4.6 - Характеристика роботи теплогенераторів.

Назва показника	Технологічні комплекси		
	Теплогенератор ОМКС	Теплогенератор в Дан Агро	ТЕЦ КП «Теплоенергетик»
Теплопродуктивність, Гкал/год	0,05	0,25	0,5
Витрата палива, л/год	120-130	55	110-220
Температура в топці, °C	950-1050	950	950-1050
Характеристики ВВП, яке спалюється в теплогенераторах			
Загальна вологість, %	40-42	42-43	38-43
Зольність (в перерахунку на суху речовину), %	26-45	8,2-8,5	30-45
Вихід летких речовин, %	23,0-41,2	42,3-43,1	6-42
Розмір часток, мкм	0-500	0-500	0-500

Для ефективного спалювання таких палив потрібна розробка спеціальних технологій та технічних засобів. У цьому випадку успішно застосовується технологія низькотемпературного вихрового спалювання в адіабатичних камерах згоряння, які або вбудовуються в простір топки існуючих котлів або

тих, що розробляються, або ж встановлюються поряд з діючим котлоагрегатом [46]. При цьому конструкції топкових камер повинні враховувати не тільки низьку реакційну здатність ВВП, але й те, що при розпилюванні ВВП довжина смолоскипа досягає 2,5 м і більше, а час знаходження частинок твердої фази ВВП в камері згоряння становить від 1с до 4с.

Наш власний досвід роботи з теплогенераторами показав, що при тепловій потужності більше 2,0 - 3,0 МВт топкова камера вбудовується в простір котла без збільшення його розмірів. При тепловій потужності менше 2,0 - 3,0 МВт потрібна установка окремої (виносної) топкової камери [39].

Нижче представлені результати роботи експериментальних та промислових котлів на суспензійному водовугільному паливі та місцевих бурих вугіллях.

Спільно з підприємством ТОВ «ПВІ «АГРОПРОЕКТ» розроблено та випробувано конструкції вихрових топкових камер спалювання різної потужності (див. табл. 4.6).

Як вихідна сировина використовувався як вугільний концентрат (теплогенератор в КП "Теплоенергетик"), Так і вугільні шлами (див. рис. 4.8).



Рис. 4.8 – Загальний вид вугільного шламу, промпродукту (б) та ВВС з них (а).



Рис 4.9 – Робота теплогенератора в КП "Теплоенергетик"

Результати дослідно-промислових випробувань розроблених теплогенераторів показали, що навіть при низьких значеннях нижчої теплоти згоряння (2500 ккал/кг) ВВП із різних марок вугілля можливе отримання значення к.п.д. понад 80%. При цьому собівартість 1 Гкал знижується на 30-300% проти спалюванням сортового вугілля чи рідкого нафтового палива [47].

На малюнку 4.10 представлена діаграма витрат на паливну складову під час виробництва 1 Гкал теплової енергії під час використання різних видів палива.

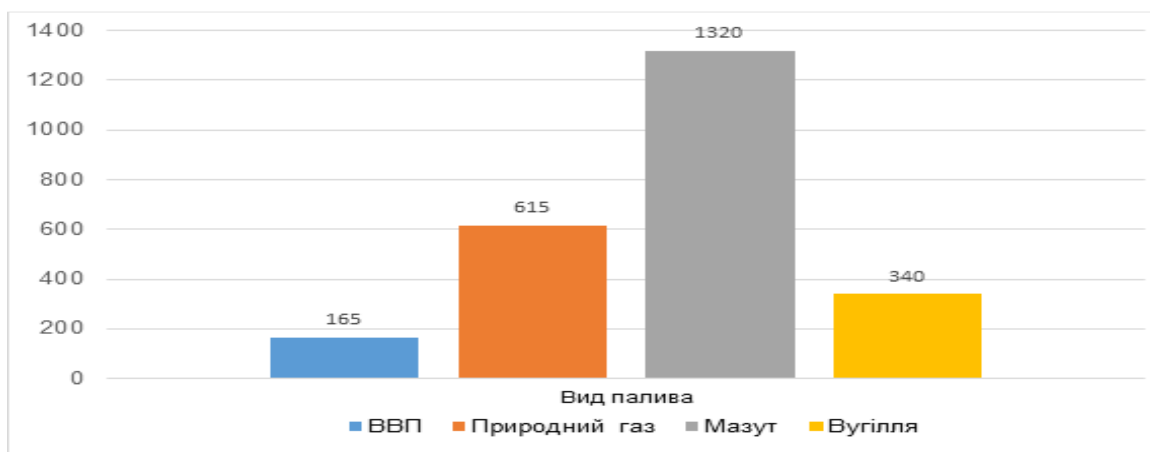


Рисунок 4.10 – Витрати паливо для виробництва 1 Гкал теплової енергії.

На території Кіровоградської області існує багато різного масштабу буровугільних родовищ. Буре вугілля через низький ступінь метаморфізму втрачає енергетичні властивості при зберіганні, відрізняються і невисокою нижчою теплотою згоряння.

Для визначення можливості роботи котла ПР-6 35/10/1,2 з генератором Т-2-6-2 на бурому вугіллі Дніпровського родовища були проведені спеціальні випробування. Вугілля мало такі характеристики: вологість – 43,2%; зольність – 11,3%; нижча теплота згоряння 7,5–8,0 МДж/кг; насипна щільність – 868кг/м³.

Результати випробувань представлені у таблиці 4.7.

У процесі випробувань у підібраних розрахункових стаціонарних режимах було визначено, що:

- котел стійко працює на нерозрахунковому паливі, середня температура киплячого шару 1000-1100 ° С;
- можливе стійке горіння в камері топки на режимах від 100% до 25% навантаження і ручному регулюванні;
- Коефіцієнт надлишку повітря за котлом 1,4-1,6;

Таблиця 4.7 - Результати випробувань

Назва параметра	Одиниця вимірювання	Значення показника	
		діапазон	середнє
Загальна кількість отриманого тепла	Гкал	-	0,350
Температура вхідних газів	°C	41-87	64
Температура зваженого шару над решіткою в топці накопосніке	°C	1000-1100	1050
Розрідження в топці	мм.вод.ст.	1,5-3,0	2,4
Склад димових газів за котлом:			
CO ₂	%		14
O ₂	%		13
CO	мг/м ³		185
NO	мг/м ³		110
SO ₂	мг/м ³		320
Теплота згоряння палива	ккал/кг		2820
Контрольні умови спалювання			
Маса поданого вугілля	кг		150
Кількість шлаку	кг		17,5
Кількість виносу	кг		1,5

- винесення з камери згоряння дрібний, незначний, видимі димові викиди з димової труби відсутні;

- Температура за котлом не перевищує 120°C.

4.6. Інтенсифікатори горіння.

Однією з конкурентоспроможних технологій спалювання палив можуть стати інтенсифікатори горіння палива, які дозволяють підвищити теплоту його згоряння та коефіцієнт корисної дії теплоустановки. Інтенсифікатори горіння сприяють повному згорянню палива, внаслідок чого його витрата на одиницю потужності енергетичного навантаження стає меншою.

Основним недоліком будь-якого композиційного палива є те, що воно придатне для спалювання певних типів теплоустановок. За наявності в будь-якому господарстві різноманітної паливо-споживальної техніки необхідно забезпечити цілу низку різних за складом та структурою типів палива.

Виходом з даної ситуації могло б стати створення універсального рідкого палива, яке має бути:

- придатним до застосування на будь-якій енергетичній установці, тобто має певний розмір частинок та їх середній розмір. Наприклад, для газових турбін граничний розмір частинок повинен перевищувати 30 мкм, для двигунів внутрішнього згоряння - трохи більше 3 мкм;

- екологічно чистим;

- зберігати свій гомогенний стан;

- собівартість одержання такого палива має бути такою, щоб його одержання на місці було економічно доцільним та не вимагало додаткових енергетичних потужностей, необхідних для виробництва палива;

- застосування зазначеного палива не повинне негативно позначатися на ресурсі енергетичних установок та викликати появу будь-яких дефектів,

Оскільки буре вугілля є високо реакційним (температура займання порядку 300-350°C), його домішка до суміші з кам'яним (температура займання 700°C) або антрацитом (температура займання 800-850°C) призводить до займання і горіння палива при більш низьких температурах.

Встановлено, що нижня межа вмісту твердої фази у ВВС без хімічних домішок із бурого вугілля становила 46 %, кам'яного 59 %, антрациту 78 %. При цьому значення структурної в'язкості перевищували необхідні – відповідно 4,8; 3,79 та 3,12 Па·с.

Вивчено характеристики ВВС, отриманих на основі сумішей кам'яне – буре вугілля; кам'яне вугілля - антрацит у співвідношеннях від 10 до 90. Антрациту та бурого вугілля у співвідношеннях від 5 до 95. У табл. 4.8 зазначено гранулометричний розподіл частинок вугілля у ВВС.

Величина частинок вугілля понад 200 мкм в отриманих суспензіях становила 0,2-1,1%, вміст класів менше 50мкм - 67-73%. Суспензії, отримані із суміші бурого вугілля та антрациту із співвідношенням вугілля Б:А 95:5 та концентрацією 49.3% мали високі значення в'язкості (2,8 Па·с), але ВУС досить пластична і може використовуватися в теплоенергетичних процесах,

оскільки має теплоту згоряння 11,8 МДж/кг. Дослідження показали, що на основі високозольних відсівів антрациту та бурого вугілля можна приготувати висококонцентровані суспензії з масовою часткою твердого 49–62% та питомою теплотою згоряння 11,7–15,6 МДж/кг.

Таблиця 4.8 – Фракційний склад ВВС.

Склад шихти	Співвідношення компонентів суміші, %	Вміст твердої фази в ВВС, %	Вихід класів в мм, %				
			1–0,4	0,4–0,2	0,2–0,1	0,1–0,05	0,05–0
Б:А	95:5	48,7	2,0	5,6	17,5	13,4	61,5
	90:10	50,5	2,6	7,0	17,0	14,1	58,8
	75:25	53,7	2,9	5,0	19,0	12,0	61,1
	50:50	58,1	2,1	3,1	15,7	9,6	69,5
	25:75	60,0	2,1	3,9	13,2	11,7	69,1
	5:95	61,1	1,2	4,2	15,0	10,9	68,7
	0:100	66,5	0,4	3,8	13,5	14,8	67,5
К:А	100:0	57,6	0,2	0,1	11,2	18,1	70,4
	90:10	57,4	0,7	0,2	14,8	13,8	70,5
	75:25	58,4	0,6	0,1	13,7	12,9	72,7
	50:50	58,7	0,7	0,2	14,3	13,4	71,4
	25:75	59,1	0,9	0,2	15,2	14,5	69,2
	10:90	59,3	0,8	0,1	17,1	13,3	68,7

Найбільш відповідними за реологічними показниками та теплотворною здатністю палива отримані суспензії із сумішей із вмістом антрациту 25% і більше з концентрацією твердої фази 50–60% та теплотою згоряння 12–15,3 МДж/кг. Отримані суспензії стабільні при зберіганні та придатні для перекачування насосами. При цьому теплотворна здатність ВВС була більшою за мінімальну теплоту згоряння (11,7 МДж/кг), встановлену

для кам'яновугільної ВУС. В'язко пластичні характеристики ВВС закономірно погіршувалися із зменшенням частки антрациту у вихідній шихті (див. рис. 4.11).

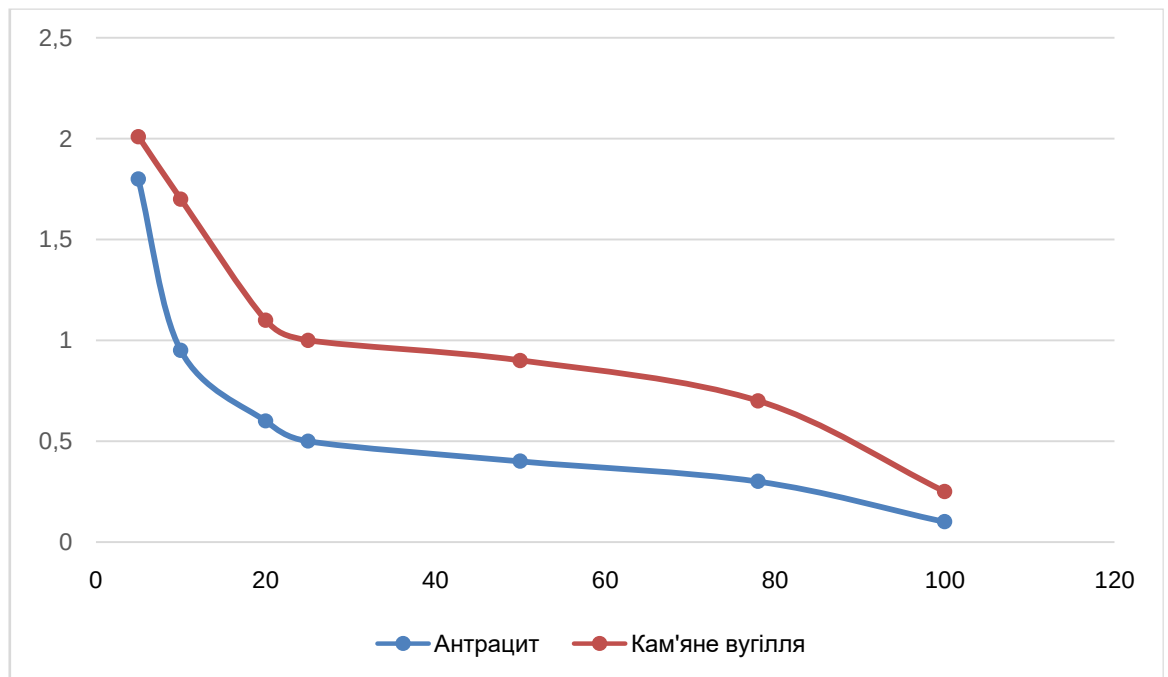


Рис4.11 – Вплив масової частки антрациту (1) та кам'яного вугілля (2) на структурну в'язкість ВВС (вміст твердої фази в ВВС 50,5 %).

Аналогічна залежність простежувалася і для шихти з бурого та кам'яного вугілля. Емпіричним шляхом також встановлено, що одержання паливних систем з додаванням мазуту М100 у буровугільну ВВС до 10 % дозволяє одержати паливо з вмістом твердої фази 40–50 % та теплотою згоряння 13–16 МДж/кг. Отримані суспензії стабільні при зберіганні та придатні для перекачування насосами.

РОЗДІЛ 5

ЕКОЛОГО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ ПІЛОТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ.

На підставі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, а також проведених дослідно-промислових випробувань безпосереднім учасником яких є автор, було розроблено та затверджено бізнес-план зі створення пілотного технологічного комплексу з приготування та спалювання суспензійного вугільного палива (ВВП) на основі теплогенераторів малої та середньої потужності.

Суть проекту полягає у отриманні дешевої теплової енергії, отриманої на основі відходів вуглепереробки (фільтр-кеку, від ВП).

Бізнес план розроблений для котелень теплопродуктивністю 1,6 МВт (1,4 Гкал/год) та 11,6 МВт (10) (Гкал/год).

Комплекс включає такі споруди:

- Встановлення приготування ВВП;
- котельний осередок з ділянкою паливоподачі ВВП.

Розрахункові показники.

Установка з приготування ВВП забезпечує продуктивність готового палива 4 т/год (див. табл. 5.1 та 5.2).

Таблиця 5.1 – Потреба у вихідних компонентах для приготування ВВП.

Матеріали	Загальні витрати матеріалів		
	т/год	т/добу.	т/сезон
Відходи вуглезбагачення	3,32	66,4	15936,0
Реагент-пластифікатор	0,024	0,48	115,2
Технічна вода	0,656	13,12	3148,8
ВВП	4,0	80,00	19200,0

Режим роботи установки відповідає режиму роботи котельні:

– опалювальний період 240 днів.

За цей період обсяг приготовленого палива складе:

$$G_{\text{ВВП}} = 4 \times 240 \times 20 = 19200 \text{ т},$$

де 4 - продуктивність установки, т/год;

240 – тривалість опалювального періоду, дні;

20 - час роботи обладнання на добу, год.

Таблиця 5.2 – Перелік основного технологічного устаткування установки з виготовлення ВВП.

Назва обладнання	Кількість, шт.
Погрузчик	1
Конвейєрстрічковий	1
Шнековий живильник	1
Реактор-змішувач	1
Фільтргрубої очистки	2
Приймальний зумпф ВВП	2
Насос перистальтичний шланговий	4
Установка приготування розчинів	1
Вібраційний млин	1
Витратна ємність для приготування реагенту	1
Насос центробіжний	1
Насос-активатор погрузний	1

Загальна потужність технологічного обладнання – 150 кВт.

У таблиці 5.3 наведено розрахунок собівартості 1 т ВВП. Дані для розрахунку були отримані на підприємстві з проекту переходу котлів марки ДКВР10-13 (див. Додаток А1).

Таблиця 5.3 - Експлуатаційні витрати та собівартість 1т ВВП.

№п/п	Елементи затрат	Необхідність	Ціна,грн./т	Витрати,тис.грн./т	Питомі витрати	
					грн.	%
1	2	3	4	5	6	7
I. Матеріальнізатрати						
1.	Відходи вуглезбагачення (бурого вугілля),т/рік	15908,6	1621	25787,84	82,9	31,5
2.	Реагент-пластифікатор,т/рік	67,0	21000	1403,0	73,0	27,8
3.	Технічнавода,м ³ /рік	3224,4	3,0	9,7	0,5	0,2
	Всього I:	19200,0	-	27200,5	156,4	59,5
II. Експлуатаційні затрати						
1.	Витратні матеріали(метал,ГЗМ)	-	-	50,0	2,6	1,0
2.	Електроенергія	315тис.кВтч/рік	2,5	780,0	40,6	15,5
3.	ФОТ	3 люд/добу.		480,0	25,0	9,5
4.	ЕСН	-	-	144,0	7,5	2,8
5.	Амортизаційні відрахування	-	-	342,0	17,8	6,8
6.	Поточнийремонт	-	-	68,4	3,6	1,4

Таблиця 5.3 - Експлуатаційні витрати та собівартість 1т ВВП.

№п/п	Елементи затрат	Необхідність	Ціна,грн./т	Витрати,тис.грн./т	Питомі витрати	
					грн.	%
1	2	3	4	5	6	7
I. Матеріальнізатрати						
1.	Відходи вуглезбагачення (бурого вугілля),т/рік	15908,6	1621	25787,84	82,9	31,5
2.	Реагент-пластифікатор,т/рік	67,0	21000	1403,0	73,0	27,8
3.	Технічнавода,м³/рік	3224,4	3,0	9,7	0,5	0,2
	Всього I:	19200,0	-	27200,5	156,4	59,5
II. Експлуатаційні затрати						
1.	Витратні матеріали(метал,ГЗМ)	-	-	50,0	2,6	1,0
2.	Електроенергія	315тис.кВтч/рік	2,5	780,0	40,6	15,5
3.	ФОТ	3 люд/добу.		480,0	25,0	9,5
4.	ЕСН	-	-	144,0	7,5	2,8
5.	Амортизаційні відрахування	-	-	342,0	17,8	6,8
6.	Поточнийремонт	-	-	68,4	3,6	1,4

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	
7.	Інші витрати	-	-	178,1	9,3	1
	Всього II:			2042,5	106,4	4
	Загальні витрати			5046,2	262,8	1
	Собівартість				263,0	

На виробництво 1 Гкал теплової енергії потреба у паливі (ВВП)

складе: $G_{\text{ВВП}} = 1:3,3:0,80 = 0,378 \text{ т/год}$

де, 1- кількість виробленої теплової енергії, Гкал/год;

3,3 - найнижча теплота згоряння ВВП, Гкал/т;

0,8 – к.к.д. котла під час роботи на ВВП.

При собівартості ВВП=1621грн./т витрати палива під час виробництва 1Гкал складуть: $1621,0 \times 0,378 = 612,74 \text{ грн. / Гкал}$,

За даними КП «Теплоенергетик» максимальне підключене теплове навантаження в опалювальний сезон складає 1,4 Гкал/год.

Для виробництва необхідної кількості теплової енергії в котельному залі котельні встановлюється котельний агрегат продуктивністю 1,4 Гкал/год. Крім того, в безпосередній близькості від котла розміщується ділянка паливоподачі ВВП до котлоагрегату (див. табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Перелік основного технологічного обладнання котельного відділення та ділянки паливоподачі.

Назва обладнання	Кількість,шт.
Насосперистальтичнийшланговий з перетворювачемчастоти	2
Насосперистальтичнийшланговий	1
Фільтртонкоїочистки	2
Котелводонагрівальний ВВП $Q=1,6 \text{ Гкал/год}$	1
ФорсункадляВВП	2
Компресорнаустановка	1
Вентилятор	1
Димовсмоктувач	1
Системазоловловлювання	1
Вивантажувачшлаку	1

За даними КП «Теплоенергетик» на котельні використовується вугілля з найнижчою теплотою згоряння 5,2 – 5,7 Гкал/т. У 2022 році було спалено 1239 т. Річні витрати на вугілля склали 6819146,25грн. Виходячи з поданих даних, вартість вугілля склала:

$6819146,25 : 1239 = 5503,75 \text{ грн./т}$ (біржові ціни на буре вугілля станом на 07.12.2023 148,75 USD за 1 тонну) ,

При виробництві 1 Гкал теплової енергії потреба у вугіллі становить:

$$G_{\text{в}} = 1 : 5,4 \times 0,70 = 0,130 \text{ т/год}$$

де, 1 – кількість виробленої теплової енергії, Гкал/год;

5,4- нижча теплота згоряння вугілля, Гкал/т;

0,70 - ккд котла при роботі на вугіллі.

За вартості вугілля 5503,75грн./т, витрати вугілля під час виробництва 1 Гкал складуть:

$$5503,75 \times 0,130 = 715,49 \text{ грн./Гкал,}$$

Економія на паливній складовій при заміні вугілля на ВВП при виробництві 1 Гкал становить:

$$715,49 - 612,74 = 102,75 \text{ грн.}$$

Обсяг виробленої теплової енергії у 2023 році на підставі поданих даних підприємства становив:

$$1239 \times 5,4 \times 0,7 = 4683,4 \text{ Гкал.}$$

де, 1239 - кількість витраченого вугілля, т / рік;

5,4– теплота сгорання вугілля, Гкал/т;

0,7–к.к.д. котлапри работе на вугіллі.

Економія при заміні вугілля на ВВП при виробництві теплової енергії в обсязі 4683.4 Гкал складе:

$$4\,683,4 \times 102,75 = 481,219 \text{ тис. грн.}$$

Технічне забезпечення реалізації проекту.

Загальна сума капітальних витрат для цього проекту становить 14 990 тис. грн (див. табл. 5.5).

Таблиця 5.5 - План реалізації проекту.

Перелік робіт	Строки виконання	Затрати, тис. грн.	
		установка приготування	котельняча ділянка подачі пали
Розробка проектно-кошторисної та Конструкторська документація проведення експертизи.	2 міс.	600,0	800,0
Поставка обладнання	3 міс.	3390,0	7120,0
Будівельно-монтажні роботи.	3 міс.	580,0	1700,0
Авторський нагляд, пуско-налагоджувальні роботи, навчання персоналу	2 міс.	400,0	400,0
Загальний строк виконання робіт	7 міс.	4970,0	10020,0
Загальні витрати на комплекс		14990,0	

Для реалізації запропонованого комплексу необхідно витратити кошти на проведення робіт з виконання проектно-кошторисної документації, проведення авторського нагляду при проведенні будівельних робіт та монтажу обладнання, проведення пуско-налагоджувальних робіт та режимних випробувань.

Витрати на перелічені роботи становитимуть 2200 тис. грн., у тому числі:

- установка для приготування ВВП - 1000 тис. грн. їх проектно-кошторисна документація 600 тис. грн.;
- котельня з ділянкою паливоподачі - 1200 тис. грн. З них проектно-кошторисна документація 800 тис. грн.

Витрати на будівельно-монтажні роботи (БМР) визначені за кошторисами-аналогами та питомими витратами і для пропонованого

комплексу становлять 2 280 тис. грн., У тому числі: 1) БМР щодо встановлення приготування ВВП - 580 тис. грн. ; 2) БМР по котельні - 1 700 тис. грн.;

Витрати на купівлю обладнання визначені за кошторисами-аналогами і для пропонованого комплексу становлять 10510 тис. грн., У тому числі: 1) Обладнання для встановлення приготування ВВП - 3 390,0 тис. грн.; 2) обладнання для котельні з ділянкою паливоподачі - 7 120,0 тис. грн.

Загальна сума витрат за реалізацію проекту зі створення ВВП становитиме 14 990 тис. грн. (з ПДВ). Основними джерелами фінансування цієї суми є кошти інвестора.

Таблиця 5.6 - Основні техніко-економічні показники водовугільного палива.

№п/п	Назва показника	Значення	
		Q= 1,6 (1,4)МВт (Гкал/год)	
1.	Видпалива	Вугілля	ВВП
2.	Режимроботи	Опалювальнийсезон	
3.	Виробництво теплової енергії, МВт×год	10524	
4.	ккд роботи котельної установки	0,6	0,85
5.	Найнижча теплота згорання палива, Гкал/т	5,300	3,300
6.	Капітальні затрати, тис. грн.	10000	
7.	Коефіцієнти витрати паливаЕ	0,36	0,44
8.	Вартість палива, грн./т	5503,75	1621,0
9.	Приріст прибутку підприємства, тис. грн	-	2564,0
10.	Економія коштів при заміні вугілля на ВВП, %	-	93,01
11.	Термін окупності капітальних вкладень, рік		5,8

При заміні палива в печі її температурний режим, кінцеві параметри

нагрівання металу та продуктивність не змінюються, можна записати співвідношення між кількістю теплоти, що буде витрачено на нагрівання металу, до і після заміни вугілля на ВВП :

$$V_B \times Q_{H.B} \times \eta_B = \eta_{ВВП} \times V_{ВВП} \times Q_{H.ВВП}, \text{ МВт} \quad (5.1)$$

де V_B – витрата бурого вугілля, кг /с;

$V_{ВВП}$ – витрата водовугільного палива, кг/с;

$Q_{H.B}$ – нижча робоча теплота згоряння бурого вугілля, МДж/кг ;

$Q_{H.ВВП}$ – нижча робоча теплота згоряння ВВП, МДж/кг;

$\eta_B, \eta_{ВВП}$ – коефіцієнти використання палива (КВП) під час опалювання печі бурим вугіллям та її роботи на ВВП, відповідно.

Із співвідношення (5.1) витрату ВВП можна обчислити як:

$$V_{ВВП} = V_B \times K_{БВ-ВВП} \text{ кг/с}, \quad (5.2)$$

де $K_{БВ-ВВП}$ – коефіцієнт заміни бурого вугілля на водовугільне паливо [5], який розраховуємо за формулою:

$$K_{БВ-ВВП} = Q_{H.B} \times \eta_B / (\eta_{ВВП} \times Q_{H.ВВП}) = 5300 \times 0,36 / (3300 \times 0,44) = 1,31 \quad (5.3)$$

Економію коштів розраховуємо за формулою:

$$E = (1 - C_{ВВП}/C_{БВ} \times 1,31) \times 100\% = 1 - (1621,0/5503,75) \times 1,31 \times 100 = 93,01\%.$$

Термін окупності визначаємо за формулою:

$$T = K/\Pi \quad (5.3)$$

$$T = 14990000/2564000 = 5,84 \text{ років}$$

РОЗДІЛ 6.

Охорона праці

6.1. Аналіз ризиків, які можуть виникнути під час отримання бінарних паливних сумішей на основі бурого вугілля.

Аналіз ризиків з охорони праці при отриманні бінарних паливних сумішей на основі бурого вугілля включає оцінку потенційних небезпек, які можуть виникати на різних етапах процесу. Бінарні паливні суміші, як правило, складаються з бурого вугілля та інших компонентів, таких як біомаса або відходи, тому при їх отриманні необхідно звернути увагу на наступні ключові аспекти.

Переробка бурого вугілля, як і будь-який індустріальний процес, може супроводжуватися рядом небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

При роботі з вугіллям та іншими сипкими матеріалами виникає ризик утворення пилу, який може призвести до проблем із дихальними шляхами або навіть його вибуху. Переробка бурого вугілля генерує значну кількість пилу, який може негативно впливати на дихальну систему працівників.

Хімічний склад бінарних паливних сумішей може включати різноманітні речовини, які можуть бути токсичними або шкідливими, а також у процесі переробки можуть використовуватися хімічні речовини, які при вдиханні або контакті зі шкірою можуть привести негативний вплив на здоров'я працівників.

Великі промислові машини та обладнання, які використовуються у переробці, можуть створювати значний рівень шуму, що негативно впливає на слух працівників. Вібрація від обладнання може призводити до різних вібраційно-індукованих захворювань, особливо при тривалому впливі.

Робота з великим обладнанням та важкими вантажами може призвести до травм.

Спалювання або інші процеси переробки можуть виділяти шкідливі гази, такі як діоксид сірки, оксиди азоту та інші забруднюючі речовини.

Оскільки буре вугілля та деякі компоненти бінарних сумішей можуть бути легкозаймистими, існує ризик вибуху та пожежі.

Буре вугілля може містити природні радіонукліди, і їх переробка може збільшити ризик радіаційного впливу.

Неправильна організація робочого місця та незручні робочі пози можуть призводити до м'язово-скелетних розладів.

Робота з електричним обладнанням завжди несе ризик ураження електричним струмом.

Швидкі темпи роботи, тривалі робочі години та високі вимоги до продуктивності можуть призводити до професійного вигорання та стресу.

6.2. Розробка заходів по запобіганню дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів і покращенню умов праці.

6.2.1. Заходи запропоновані для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Покращення умов праці при переробці бурого вугілля вимагає комплексного підходу, що включає заходи безпеки, охорони здоров'я, екологічної стійкості та ефективності виробництва. Запобігання дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів та покращення умов праці при переробці бурого вугілля включає ряд наступних заходів.

Контроль пилу. Важливо встановити ефективні системи вентиляції, щоб знизити концентрацію шкідливих газів і пилу у повітрі. Встановлення систем збору та фільтрації пилу. Регулярне прибирання для зменшення накопичення пилу. Зрошення областей переробки вугілля для зменшення утворення пилу.

Захист від хімічних ризиків. Використання герметичного обладнання для мінімізації випаровування шкідливих речовин.

Забезпечення наявності та правильного використання індивідуальних засобів захисту (ІЗЗ). Надання працівникам високоякісного захисного обладнання, включаючи респіратори, захисні окуляри, шоломи, рукавиці. Регулярний моніторинг якості повітря.

Мінімізація фізичних навантажень. Механізація та автоматизація важких процесів. Ергономічне оформлення робочих місць. Регулярні перерви для працівників для зменшення фізичного навантаження.

Пожежна безпека. Встановлення систем автоматичного пожежогасіння. Регулярні тренування та інструктажі з пожежної безпеки для персоналу. Забезпечення належного зберігання легкозаймистих матеріалів.

Регулярні навчання з питань охорони праці та надзвичайних ситуацій. Тренування та освіта персоналу. Проведення регулярних навчань. Освітні програми щодо правильного використання обладнання та ІЗЗ.

Заходи з ергономіки. Оцінка робочих місць з метою ідентифікації потенційних ергономічних проблем. Адаптація обладнання та робочих місць до потреб працівників.

Медичний нагляд. Регулярні медичні огляди працівників для раннього виявлення професійних захворювань. Забезпечення наявності медичного персоналу та обладнання для надання першої допомоги.

Психологічна підтримка. Забезпечення доступу до психологічної підтримки та консультування для працівників.

Управління ризиками та надзвичайними ситуаціями. Розробка та реалізація планів евакуації та реагування на надзвичайні ситуації. Регулярні навчання та вправи з реагування на надзвичайні ситуації.

Температурний контроль. Забезпечити адекватне охолодження або обігрів робочих зон.

Освітлення. Забезпечити достатнє освітлення на робочих місцях для безпечної роботи.

Автоматизація та роботизація. Впровадження автоматизованих та роботизованих систем може знизити потребу у важкій фізичній праці та знизити ризик травм. Використання ергономічних інструментів та машин, які зменшують фізичне навантаження.

Регулярні перерви для запобігання втомі та професійних захворювань. Забезпечити працівникам регулярні медичні огляди.

Надавати доступ до психологічної підтримки, особливо в умовах стресу та високого ризику.

Активне залучення працівників до процесу вдосконалення умов праці та прийняття рішень щодо робочого середовища.

6.2.2. Вибір і обґрунтування засобів індивідуального захисту.

При переробці бурого вугілля важливо використовувати ІЗЗ, щоб забезпечити безпеку працівників. Ось деякі основні засоби, які слід враховувати.

Респіратори або маски для захисту дихальних шляхів. При переробці бурого вугілля може виділятися пил, що може негативно впливати на дихальні шляхи. Респіратори повинні бути пристосовані до типу і концентрації забруднювачів.

Захисні окуляри або щитки. Захист очей від пилу, летючих частинок і можливих хімічних речовин є критично важливим.

Захисний одяг. Спецодяг повинен бути виготовлений з вогнетривкого та водовідштовхувального матеріалу. Це захистить від іскор, хімічних речовин та інших потенційно небезпечних впливів.

Захисне взуття. Взуття має бути з непроникним підошвою та металевим носком для захисту від падіння важких предметів.

Рукавиці. Залежно від роботи, рукавиці можуть бути необхідні для захисту від механічних пошкоджень, високих температур або хімічних речовин.

Захисні шоломи. Для захисту голови від ударів, падіння предметів та інших потенційних небезпек.

Слуховий захист. У разі високого рівня шуму на виробництві, захисні навушники або вкладиші для вух є важливими.

Системи захисту від падіння. Якщо робота виконується на висоті, важливо використовувати страхувальні пояси та інші засоби для запобігання падіння.

Душ та станції для очищення очей. У разі аварійного контакту з хімічними речовинами, повинні бути доступні засоби для негайного очищення.

6.2.3. Інструкція з охорони праці при отриманні паливних сумішей.

Персонал, який займається отриманням паливних сумішей з бурого вугілля, повинен пройти спеціальне навчання з охорони праці та мати відповідні допуски.

Перед початком роботи необхідно ознайомитися з місцевими інструкціями з охорони праці, пожежної безпеки та екологічними нормами.

Використовуйте захисний одяг, взуття, рукавиці, захисні окуляри та, за необхідності, респіратори.

Переконайтеся, що всі засоби індивідуального захисту відповідають стандартам і знаходяться у задовільному стані.

Перед використанням перевіряйте обладнання на предмет пошкоджень та несправностей.

Використовуйте тільки те обладнання та інструменти, які призначені для роботи з бурим вугіллям.

Слідкуйте за строгою відповідністю технологічного процесу.

Уникайте неконтрольованого розсипання вугілля та контакту з водою, що може викликати самозаймання.

Забезпечте наявність робочих вогнегасників та інших засобів пожежогасіння. Знайте місцезнаходження та порядок використання пожежних гідрантів, вогнегасників та аварійних виходів.

При роботі з хімічними реагентами слід дотримуватися інструкцій з безпеки та використовувати відповідні засоби захисту.

Зберігайте хімічні реагенти в спеціально відведених, добре вентильованих місцях.

У разі виникнення аварійної ситуації негайно повідомте керівництво.

Дотримуйтеся інструкцій з евакуації та надзвичайних заходів.

Після завершення роботи переконайтеся, що усе обладнання вимкнене та знаходиться у безпечному стані.

Очистіть робоче місце від залишків вугілля та хімічних реагентів.

Регулярно проводьте інструктажі з охорони праці, пожежної безпеки та екологічної безпеки.

Регулярно проходите медичні огляди для виявлення можливих професійних захворювань.

6.2.4. Розробка системи управління охороною праці на підприємстві отримання паливних сумішей.

Підприємство розробляє та офіційно фіксує стратегію управління в галузі безпеки праці. Цей процес базується на детальному аналізі потенційних небезпек на виробничих об'єктах, включаючи виявлення, оцінку та розробку стратегій мінімізації ризиків небезпечних ситуацій. Політика безпеки праці є документованою, доступною всім співробітникам та підлягає періодичному перегляду та коригуванню відповідно до змін у виробничому процесі.

Політика безпеки праці має на меті:

- встановлення ключових цілей для підвищення рівня безпеки праці;
- врахування потенційних ризиків у компанії;
- зобов'язання керівництва до неперервного поліпшення умов праці, включаючи співпрацю з громадськими контрольними органами та інформування працівників про умови праці та можливі ризики.

Планування заходів включає оцінку умов праці та розробку стратегій для покращення безпеки праці, визначення потреб у новій техніці та технологіях засобів безпеки на основі аудиту та аналізу причин аварій та професійних захворювань.

Перспективне планування включає:

- річні плани заходів з безпеки праці;
- оперативні плани для окремих цехів і відділів, включаючи розслідування нещасних випадків та вказівки державного нагляду.

Підприємство також розробляє і фінансує заходи для досягнення вимог безпеки праці, визначених у колективному договорі.

Описаний детальний план заходів з безпеки праці, включаючи розроблення правил для служби безпеки праці відповідно до стандартних положень. Внутрішні нормативні акти регулюють створення ефективної системи управління безпекою праці.

Визначено категорії працівників, які працюють з небезпечними речовинами, та необхідність їх медичного огляду. Також встановлено списки робіт, що вимагають обов'язкових медичних оглядів.

В положенні про систему управління безпекою праці визначено процедури навчання та розвитку інструкцій. Атестація робочих місць проводиться згідно з відповідними порядками.

Підприємство забезпечує організацію робочого режиму та відпочинку з урахуванням законодавства. Визначено перелік професій, які потребують засобів індивідуального захисту, та розроблено інструкції для їх використання.

Здійснюється постійна оцінка потенційних небезпечних ситуацій та розроблені заходи щодо їх запобігання. Стимулювання покращення умов безпеки праці та відповідне фінансування передбачено в колективному договорі.

6.3. Розробка заходів з пожежної профілактики.

Заходи з пожежної профілактики при отриманні бінарних сумішей з бурого вугілля є важливими для забезпечення безпеки процесів. Основні ключові аспекти наступні.

Контроль температури. Важливо підтримувати контрольовані температурні умови під час змішування та зберігання бінарних сумішей, оскільки буре вугілля може самозайматися при високих температурах.

Моніторинг вмісту вологи. Забезпечення оптимального рівня вологості у вугіллі є важливим, оскільки надмірна волога може сприяти хімічній реакції, що призводить до підвищення температури.

Вентиляція. Забезпечення адекватної вентиляції на виробничих об'єктах є критично важливим для запобігання накопичення газів, які можуть утворюватися в результаті хімічних реакцій.

Застосування інгібіторів самозаймання. Використання хімічних добавок, які знижують ймовірність самозаймання вугілля, може бути ефективним засобом профілактики.

Регулярні перевірки і обслуговування обладнання. Перевірка та технічне обслуговування обладнання для змішування і зберігання вугілля на предмет зносу або несправностей забезпечить додаткову безпеку.

Навчання персоналу. Проведення регулярних тренінгів для працівників, щоб вони розуміли ризики та відповідні заходи безпеки при роботі з бінарними сумішами.

Системи пожежогасіння. Наявність автоматичних систем пожежогасіння на об'єктах, де відбувається змішування та зберігання бінарних сумішей, може швидко реагувати на будь-які ознаки пожежі.

Зонування та обмеження доступу. Обмеження доступу до зон, де відбувається обробка або зберігання бінарних сумішей, може допомогти уникнути небезпечних ситуацій.

Планування аварійних ситуацій. Розробка та регулярне оновлення планів дій на випадок аварійних ситуацій, що можуть виникнути під час роботи з бінарними сумішами.

Моніторинг стану сумішей. Регулярний моніторинг складу та властивостей бінарних сумішей для виявлення будь-яких змін, які можуть призвести до підвищення ризику пожежі.

6.4. Висновки по розділу

Охорона праці при отриманні паливних бінарних сумішей включає цілий ряд важливих аспектів, які необхідно враховувати для забезпечення безпеки працівників та навколишнього середовища.

Перед початком роботи необхідно провести оцінку потенційних ризиків, пов'язаних з виробництвом та використанням бінарних паливних

сумішей. Розробити та впровадити ефективні заходи контролю для запобігання вибухів, пожеж та інших небезпечних ситуацій.

Проведення регулярних навчань та інструктажів для працівників щодо правил безпеки, поводження з небезпечними речовинами та дій у надзвичайних ситуаціях дозволить зменшити ризики виникнення нещасних випадків.

ВИСНОВКИ

Аналіз отриманих лабораторних даних дозволяє зробити висновок, що одним з основних факторів, що впливають на гранулометричний розподіл частинок вугілля в ВВС є якість матеріалу, що розмелюється. Також велике значення з цієї точки зору має співвідношення тіл, що мелють, і маси вугілля, що завантажуються.

Вивчено реологічні характеристики та режими приготування ВВС на основі комбінації кам'яного та бурового вугілля. Встановлено, що оптимальний вміст бурого вугілля у бінарній шихті становить 5-20%. При цьому отримані ВВС із концентрацією 54-57% задовольняють умовам трубопровідного транспорту.

Результати дослідно-промислових випробувань розроблених теплогенераторів показали можливість використання як паливо ВВП із різних марок вугілля Красноярського краю при к.к.д. більше 80% навіть за низьких значень нижчої теплоти згоряння (2500 ккал/кг). У цьому можливе зниження собівартості 1 Гкал від 30 до 300 % проти спалюванням сортового вугілля чи рідкого нафтового палива.

Застосування технології низькотемпературного вихрового спалювання в адіабатичних камерах згоряння має інвестиційну привабливість, обумовлену компактністю з високими показниками надійності та високою екологічністю.

Таким чином, використання композиційних ВВС замість однокомпонентних дозволяє вирішити одну з основних проблем буровугільних ВВС – підвищення теплоти згоряння, при збереженні, а в деяких випадках, та покращенні реологічних характеристик суспензій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Watanabe S. Effekt of several factors on high concentrated coal-waterslurryreologicalproperties.Symp.OnCoalSlurryCombastion.Florida.1984. pp.467–478.
2. Свінар І.Критерії екологічної ефективності використання бінарних паливних систем. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». (м. Кропивницький, 8-10 листопада 2023 р), Кропивницький: ЦНТУ. 2023.С.380-382
3. Murko V.I.Enviromentallycleantechnologyoffinewastecoalutilization. The 17th InternationalCoal PreparationCongress.Turkey.2013.pp.679–682.
4. Круть О.А. Водовугільне паливо. К.: Наук. думка, 2002. 172 с
5. Coal-Water Slurry Cofiring // Coal Utilization & Fuel Systems: Proc. 20th Int. Conf. (March 1995, Clearwater, Florida, USA). pp. 523–534.
6. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : Монографія / [Адаменко О., Височанський В., Лютко В. та ін.]. Івано-Франківськ : ІМЕ, 2001. 432 с.
7. Bird S.O. Coal in Water: Fuel of the Future? // Virginia Minerals. 1986. Vol. 32. pp. 21–29.
8. Літовкін В. В. Аналітичний огляд технологій и устаткування для виробництва водовугільного паливо в Україні. Нові Виклики часу : зб. наук. праць. Львів: НВФ «Українські Технології». 2009. С. 76—80.
9. WibberleyL.G., PalfreymanD., ScaifeP. EfficientUseofCoalWaterFuels. QCATTechnologyTransferCentre, 2008. 87 p.
10. Халатов А. А. Водовугільне паливо в енергетиці України. Сучасний стан и Проблеми розвитку. Вісник Академії митної служби України. Технічні науки. 2009. № 2 (42). С. 33-43.
11. BastaN., MooreS., GeraldO. CoalSlurries: anEnvironmentalBonus? // Chem. Eng. 1994. Режим доступа: [http:// infohouse.p2ric.org/ref/27/26637.pdf](http://infohouse.p2ric.org/ref/27/26637.pdf). (Дата звернення 18.11.2023).

12. Pat. US 4599089, C10L1/32 Coal-water dispersion / Stigsson L.L., Lindman B. Publ. 08.07.1986.
13. Xue M., Su M., Dong L. et al. An investigation on characterizing dense coal-water slurry with ultrasound: theoretical and experimental method // Chem. Eng. Commun. 2009. Vol. 197. pp. 169–179.
14. Круть О., Білецький В. Водовугільне паливо: стан проблеми і перспективи використання. Вісник НАНУ України. 2013. № 8. С. 58–59.
15. Kefa C., Qiang Y., Xinyu C. et al. Recent Development of CWS Combustion Technology in China // Coal Utilization & Fuel Systems: Proc. 20th Int. Conf. (March 1995, Clearwater, Florida, USA). pp. 731–739.
16. Семенов В. Г. Гармонізація національного стандарту на біодизельне паливо до європейського та американського стандартів. Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології». 15 – 19 травня 2006 р. К. : Книжкове вид-во НАУ, 2006. С. 119 – 121.
17. Tanaka M. The Operation of a CWM Relay Station in the CWM Chain from China to Japanese Users // Coal Utilization & Fuel Systems: Proc. 21th Int. Conf. (March 1996, Clearwater, Florida, USA). P. 691- 698.
18. Lu Y., Cui Z. Study on Development Strategy of Coal Pipeline Transportation in China // Coal Utilization & Fuel Systems: Proc. 23th Int. Conf. (March 1998, Clearwater, Florida, USA). P. 875.
19. Білецький В.С., Круть О.А., Власов Ю.Ф. Дослідження характеристик водовугільного палива залежно від властивостей вихідного вугілля. Наук. вісн. Національного гірничого університету. 2006. № 6. С. 46–49.
20. Круть О.А, Білецький В.С, Сергєєв П.В. Аналіз енергетичного стану твердої фази водовугільної суспензії з позиції ДЛФО. Збагачення корисних копалин. 2006. № 25. С. 14–20.
21. Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012–2016 роки

Постанова КМ України 17.05.2012. № 397.

22. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/doccatalog/document?id=222032>. (Дата звернення 04.09.2023).

23. Енергія природи: Національний проект. Режим доступу: <http://www.ukrproject.gov.ua/node/28>. (Дата звернення 14.09.2023).

24. Yan Jianhua et al. A Low Emission Technology – Low Cost Water Mixture Fired Fluidized Bed Combustion. The Proceedings of the 20th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems. March, 1995. Clearwater, Florida, USA. pp.749 –756.

25. Гайдай А.А. Оцінка якісних показників кам'яного вугілля при видобутку в технологічному ланцюзі та можливість вторинного використання продуктів збагачення. Науковий вісник НГУ, 2010, №1, С. 23-25.

26. Ковальський В. Про підвищення рівня еколого-енергетичної безпеки України. Економіка України. 2000. № 10. С. 34 – 41.

27. Ресурси матеріальні вторинні. Терміни та визначення : ДСТУ 2102-92. – [Чинний від 1993-07-01]. К.: Держстандарт України, 1996. 25 с. (Національний стандарт України).

28. Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). Київ, 2014. 168 с.

29. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. Mining of Mineral Deposits, 13(1), 24-38. <https://doi:10.33271/mining13.01.024>.

30. Shur, M. L. A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wallmodelled LES capabilities. / International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008. № 29(6), pp. 1638- 1649.

31. Муман М., Пінчук В.О. Експериментальне дослідження

теплофізичних властивостей водовугільного палива с додаванням гліцерину. Молода академія 2020: зб. тез доп. всеукр. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, м. Дніпро, 21-22 травня 2020р. Дніпро. Т.1. С. 103.

32. Білецький В.С. Дослідження характеристик водовугільного палива залежно від властивостей вихідного вугілля. Науковий вісник Національного гірничого університету. Дніпропетровськ, 2006. №6. С. 46-49.

33. Cherneckaya N. Mixing of water-coal fuel compositions with rational rheological and energy performances on a basis of Donbass coal-field. Motrol. Motorization and power industry in agriculture. Lublin, 2008. Vol. 10A. pp. 18-24.

34. Morozov A. V. Branch and bound method in the Hamiltonian Rural Postman Problem. System Research and Information Technologies. 2012. №2. P. 57.

35. Mishra S.K., Kanungo S.B. Factors affecting the preparation of highly concentrated coal-water slurry (HCCWS). Journal of Scientific & Industrial Research. 2000. Vol. 59 (10). pp. 765–790.

36. Шворнікова Г.М.
Дослідження закономірностей впливу властивостей вихідного вугілля на реологічні характеристики водовугільного палива. Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. 2009. №2(132). С. 447 – 451.

37. Vasilevich, J., Vihrenko, V., Zhuravkov, M. Teoreticheskaja i prikladnaja mehanika. Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal, 2010. No25, pp. 178-185.

38. Борук С.
Підвищення рівня техногенної безпеки процесів спалювання некондиційного палива. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Вимірювальна техніка та метрологія». 2013. Випуск 74. С. 145-149.

39. Rogovyi A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. 2016. Vol. 16, No. 3. pp. 57-62.

40. Зміна клімату. Узагальнена доповідь під редакцією Роберта Т.

Уотсона і основної групи авторів. Третя доповідь МГЕЗК про оцінку клімату. 2001. 220 с.

41. Chernetskaya-Beletskaya N. Improving industrial pipeline transport using research regularities of flow of mixtures in material pipeline. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 4/7, №. 88. pp. 38-41.

42. Енергозбереження як фактор підвищення конкурента спроможності господарювання та національної економіки. Режим доступу: <http://www.academia.org.ua> (Дата звернення 03.10.2023).

43. Сліпенюк Т.С. Флокуляційні структурування водних суспензій в присутності полімерів Композиційні матеріали: Тези доповідей III Міжнародної науково-технічної конференції, 9–11 червня 2004 року: матер. конф. Київ, Україна, 2004. С. 127.

44. Харченко М. Розробка системи рейтингової оцінки нафтогазоперспективних локальних структур на прикладі акваторій Чорного та Азовського морів [Електронний ресурс]. Геологія та геохімія горючих копалин. 2009. № 3-4. Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/gggk/2009_34/PDF/Article%203.pdf (Дата звернення 07.11.2023).

45. ДСТУ ISO 1928:2006 Палива тверді мінеральні. Визначення найвищої теплоти згоряння методом спалювання в калориметричній бомбі та обчислення найнижчої теплоти згоряння.

46. Круть О.А., Білецький В.С., Сергєєв П.В. Фізико-хімічні аспекти технології водовугільного палива. Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. 2010. Вип. 43(84). С. 98-106.

47. Takeno K., Tokuda K., Ichinose T., Kaneko S. Fundamental experiment on the combustion of coal-water mixture and modeling of the process. International Symposium on Combustion. 1996. Vol. 26. P. 3223–3230. DOI: 10.1016/S0082-0784(96)80168-8.

48. Кириленко І.Г. Формування ринку українського біопалива: передумови, перспективи, стратегія. Економіка АПК. 2010. № 4. С. 62.

49. Дубовський С. В. Енергоекономічний аналіз сполучених систем генерації електричної енергії і теплоти. Київ : Наукова думка. 2014. 182 с.
50. Домбровський В. М. Управлінський облік : навч. посіб. К. : КНЕУ, 2005. 278 с.
51. Гладких Т.В. Фінансовий облік в схемах і таблицях : навч.посіб.— К. : Центр навчальної літератури, 2006. 479 с.
52. ТкачукК.Н., ГурінА.О. Охорона праці: підручник для студентів гірничих спеціальностей вищих закладів освіти. Київ: 1998. 320 с.
53. Жидецький В.Ц., Джиги рей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. Вид. 4-те, доповнене. Львів: Афіша, 2000. 240 с.

ДОДАТКИ